

SKRIPSI

**PERBANDINGAN ANTARA BALOK BAJA WF (WIDE
FLANGE) DAN STRUKTUR RANGKA BAJA SIKU DAN T
DENGAN MODEL GABLE FRAME PADA HANGGAR
PESAWAT SKADRON 32 PANGKALAN MILITER TNI AU
ABDULRAHMAN SALEH MALANG**



Disusun Oleh :

AL IMRAN

13.21.114

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2017

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

PERBANDINGAN ANTARA BALOK BAJA PROFIL WF (WIDE FLANGE) DAN STRUKTUR RANGKA BAJA SIKU DAN T DENGAN MODEL GABLE FRAME PADA HANGGAR PESAWAT SKADRON 32 PANGKALAN MILITER TNI AU ABDULRAHMAN SALEH MALANG

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

Teknik Sipil Strata (S-1)

Institut Teknologi Nasional Malang

Disusun Oleh :

AL IMRAN

13.21.114

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Ester Priskasari, MT.

Mohammad Erfan, ST.MT.

Mengetahui :

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1



Ir. A. Agus Santosa, MT

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

PERBANDINGAN ANTARA BALOK BAJA PROFIL WF (WIDE FLANGE) DAN STRUKTUR RANGKA BAJA SIKU DAN T DENGAN MODEL GABLE FRAME PADA HANGGAR PESAWAT SKADRON 32 PANGKALAN MILITER TNI AU ABDULRAHMAN SALEH MALANG

Dipertahankan dihadapan dewan penguji ujian skripsi jenjang Strata Satu (S-1)

Pada Hari Kamis 03 Agustus 2017

Dan diterima untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar

Sarjana Teknik Sipil

Disusun Oleh :

AL IMRAN

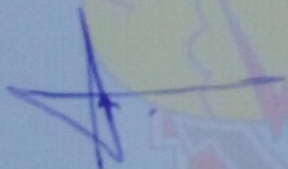
13.21.114

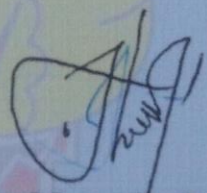
Disahkan oleh

Panitia Ujian Skripsi:

Ketua

Sekretaris

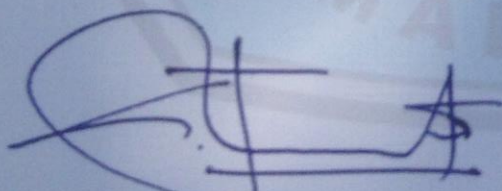

Ir. A. Agus Santosa, MT.

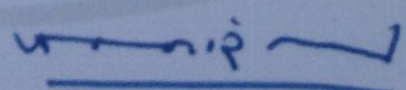

Ir. Munasih, MT.

Anggota Penguji :

Penguji I

Penguji II


Ir. Eding Iskak Imananto, MT.


Ir. Sudirman Indra, MSc.

PROGRAN STUDI TEKNIK SIPIL S-1

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2017

SKRIPSI

**PERBANDINGAN ANTARA BALOK BAJA WF (WIDE
FLANGE) DAN STRUKTUR RANGKA BAJA SIKU DENGAN
MODEL GABLE FRAME PADA SKADRON 32 PANGKALAN
MILITER TNI AU ABDURRAHMAN SALEH MALANG**



Disusun Oleh :

AL IMRAN

13.21.114

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2017

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Al Imran
NIM : 13.21.114
Program Studi : Teknik Sipil S-1
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan
Institusi : Institut Teknologi Nasional Malang

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya dengan judul :


“PERBANDINGAN ANTARA BALOK BAJA PROFIL WF (WIDE FLANGE) DAN STRUKTUR RANGKA BAJA SIKU DAN T DENGAN MODEL GABLE FRAME PADA HANGGAR PESAWAT SKADRON 32 PANGKALAN MILITER TNI AU ABDULRAHMAN SALEH MALANG”

adalah benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan duplikat serta tidak mengutip atau menyadur hasil karya orang lain, kecuali disebut dari sumber aslinya dan tercantum dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil duplikasi atau mengambil karya tulis orang dan pikiran orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 29 September 2017
Yang membuat pernyataan




Al Imran
13.21.114

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas hidayah dan ridho yang telah memberikan kesempatan sehingga terselesaikannya Proposal ini dengan judul **“Perbandingan Antara Balok Baja Profil WF (Wide Flange) Dan Struktur Rangka Baja Siku Dengan Model Gable Frame Pada Skadron 32 Pangkalan Militer TNI AU Abdulrahman Saleh ”** Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan akademis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil di Institut Teknologi Nasional Malang.

Dalam penyelesaian Skripsi akhir ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa adanya bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu tak lupa kiranya penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak **Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MTA.** selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak **Ir. A. Agus Santosa, MT.** selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang.
3. Ibu **Ir. Ester Priskasari MT.** selaku Dosen Pembimbing I
4. Bapak **Mohammad Erfan, ST, MT.** selaku Dosen Pembimbing II
5. Kedua orang tua, dan keluarga, terima kasih atas segala dukungan materiil dan doanya.
6. Rekan-rekan Teknik sipil yang telah turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung, dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari Proposal Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itu dengan segala kerendahan hati penyusun mohon maaf yang sebesar-besarnya jika masih banyak terdapat kekurangan di dalamnya. Untuk itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan, diakhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermamfaat bagi kita semua.

Penyusun

Al Imran
Nim. 13.21.114

ABSTRAK

“Perbandingan Antara Balok Baja Profil WF (Wide Flange) Dan Struktur Rangka Baja Siku Dengan Model Gable Frame Pada Skadron 32 TNI AU Abdurahman Saleh Malang”.Oleh: Al Imran Nim 13.21.114

Pembimbing: Ir. Ester Priskasari, MT , Mohamad Erfan, ST, MT.

Perkembangan konstruksi modern sudah sangat pesat, terutama konstruksi baja, baik dari segi metode perencanaan yang diterapkan, maupun pembuatan pabrikasi material yang bermutu dan berkualitas tinggi. Salah satunya adalah Struktur atap dimana dilakukan modifikasi dari bentuk asli yang bertujuan menjadikan bentuk yang lebih memiliki daya kekuatan yang lebih besar namun ringan serta memiliki nilai ekonomis, dan bertujuan untuk estetika pula.

Dalam judul skripsi ini penulis akan membandingkan dua profil baja untuk kebutuhan balok pada gable frame yaitu profil baja WF dan struktur rangka baja siku dan T. Dalam studi perbandingan ini, penulis akan merencanakan dimensi profil yang pas terlebih dahulu. Pada desain penampang profil baja WF dan baja Siku dan T menggunakan metode LRFD yaitu merupakan metode desain yang diberikan faktor beban dan faktor reduksi untuk memperoleh desain yang aman dan ekonomis, selain itu untuk memperoleh jumlah baut yang dibutuhkan untuk setiap sambungannya.

Metodelogi yang digunakan adalah studi pustaka dan perencanaan struktur baja kemudian dengan analisa pembebanan yang telah dihitung dianalisa dengan program bantu STAAD Pro V8i untuk mendapatkan nilai-nilai momen, gaya lintang, dan gaya normal. Sehingga menghasilkan perhitungan struktur dan gambar perencanaan.

Dari hasil perhitungan dengan pembebanan yang sama didapatkan dimensi profil WF 700.600.18.34. Didapatkan dimensi profil Siku 130.130.9 dan T 400.300. Kebutuhan baut untuk sambungan profil WF adalah 112 baut dan profil Siku dan T adalah 688 baut. Berat struktur balok menggunakan profil WF 700.600.18.34 sebesar : 37238,4 kg, sedangkan menggunakan profil Siku 130.130.9 dan T 400.300 berat struktur sebesar : 36545,1 kg. Terdapat selisih berat struktur sebesar 693,3 kg.

Kata Kunci : WF, T, LRFD, Gable Frame

DAFTAR ISI

COVER

LEMBAR PERSETUJUAN

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR NOTASI.....	xii

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Maksud dan Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Analisis.....	4

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Baja.....	6
2.2 Teori Load Resistance Factor Design(LRFD)	8
2.2.1 Faktor Reduksi.....	8
2.2.2 Kombinasi LRFD.....	9
2.3 Baja Profil Baja Siku Ganda.....	10
2.3.1 Perhitungan Defleksi.....	11
2.3.2 Faktor Panjang Tekuk.....	13

2.4	Baja Profil WF (Wide Flange).....	17
2.3.1	Kontrol Tekuk Torsi – Lateral.....	18
2.3.2	Komponen Struktur Menahan Tekanan Aksil.....	19
2.3.3	Komponen Struktur Menahan Tekanan Lentur.....	20
2.3.3	Perhitungan Defleksi.....	21
2.5	Perencanaan Sambungan.....	22
2.5.1	Sambungan Balok - Kolom.....	23
2.5.2	Sambungan Balok Ujung – Balok Ujung.....	23
2.5.3	Sambungan Baut.....	24
2.5.4	Sambungan Las Pada Plat Ujung.....	28
2.5.5	Sambungan Pada Hanger.....	31
2.6	Perencanaan Pada Baja T dan Siku.....	42
2.6.1	Sambungan Rafter Tepi.....	43
2.6.2	Sambungan Puncak.....	44
2.7	Base Plate.....	46

BAB III

METODELOGI

3.1	Pengumpulan Data.....	50
3.3.1	Data Primer.....	50
3.3.2	Data Sekunder.....	50
3.2	Metodologi yang digunakan.....	51
3.2.1	Observasi.....	51
3.2.2	Studi Pustaka.....	51
3.3	Analisis/Pengolahan Data.....	51
3.4	Perhitungan Struktur.....	52
3.5	Gambar Perencanaan.....	52
3.6	Kesimpulan.....	53
3.7	Diagram Alir Analisis.....	54

BAB IV

PERENCANAAN BALOK KOLOM WF DAN DOUBEL ANGLE

4.1 Data Perencanaan.....	56
4.2 Pembebanan LRFD.....	57
4.2.1 Beban Mati.....	57
4.2.2 Beban Hidup.....	58
4.2.3 Beban Angin.....	59
4.2.4 Beban Air Hujan.....	63
4.3 Pembebanan Pada Kuda-Kuda.....	64
4.3.1 Beban Mati.....	65
4.3.2 Beban Hidup.....	66
4.3.3 Beban Angin.....	67
4.3.4 Beban Air Hujan.....	72
4.3.5 Kombinasi Pembebanan.....	73
4.4 Pembebanan Pada Kuda-Kuda.....	79
4.4.1 Perhitungan Konstruksi Metode LRFD.....	79
4.4.2 Perhitungan Balok-Kolom.....	80
4.4.3 Perhitungan Dimensi.....	81
4.5 Perhitungan Sambungan.....	88
4.5.1 Perhitungan Sambungan Puncak.....	88
4.6 Perhitungan Sambungan Rafter Tepi.....	98
4.7 Perhitungan Sambungan Balok-Balok.....	109
4.8 Perhitungan Plat Dasar.....	110
4.9 Pembebanan Pada Gording.....	120
4.9.1 Beban Mati.....	121
4.9.2 Beban Hidup.....	122
4.9.3 Beban Angin.....	123
4.9.4 Beban Air Hujan.....	127
4.10 Pembebanan Pada Kuda-Kuda.....	128
4.10.1 Beban Mati.....	129
4.10.2 Beban Hidup.....	130
4.10.3 Beban Angin.....	131

4.10.4 Beban Air Hujan.....	136
4.10 Kombinasi Pembebanan.....	137
4.11 Perhitungan Trekstrang.....	141
4.12 Perhitungan Perhitungan Momen Portal Gable Frame.....	143
4.12.1 Perhitungan Balok Profil T.....	143
4.13 Perhitungan Balok Profil Siku.....	149
4.14 Perhitungan Perhitungan Sambungan.....	153
4.14.1 Perhitungan Sambungan	154
4.14.2 Sambungan Rafter Tepi 1	159
4.14.3 Sambungan Rafter Tepi 2	166
4.14.4 Sambungan Rafter Tepi 3.....	178
4.14.1 Sambungan Rafter Tepi 4.....	184
4.14.2 Sambungan Rafter Tepi 5.....	194
4.14.1 Sambungan Rafter Tepi 6.....	199
4.14.2 Sambungan Puncak	207

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	221
5.2 Saran.....	222

LAMPIRAN

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Kc untuk kolom dan ujung-ujungnya.....	11
Tabel 2.2Nomograf Panjang Tekuk.....	12
Tabel 2.3 Jarak Tepi Minimum.....	20
Tabel 2.4 Kekuatan Nominal Baut.....	21
Tabel 4.1 Faktor Arah Angin WF.....	53
Tabel 4.1 Faktor Arah Angin Siku.....	118

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Spesifikasi Profil BajaSiku.....	7
Gambar 2.2 Nomograf Tekuk Kolom.....	11
Gambar 2.3 Profil T.....	12
Gambar 2.4 Profil WF.....	14
Gambar 2.5 Sambungan Kolom-Kolom.....	19
Gambar 2.6 Sambungan Balok-Balok.....	19
Gambar 2.7 Tebal Efektif Las Sudut.....	23
Gambar 2.8 Letak Sambungan.....	26
Gambar 2.9 Model Sambungan Rafter Tepi.....	27
Gambar 2.10 Model Sambungan Puncak.....	30
Gambar 2.11 Sambungan Lewatan.....	31
Gambar 2.12 Letak Sambungan Siku.....	36
Gambar 2.13 Skema Penyambungan Balok-Kolom.....	37
Gambar 2.14 Skema Penyambungan Puncak.....	38
Gambar 2.15 Base Plate.....	40
Gambar 2.14 Sambungan Dan Gaya Pada Base Plate.....	42
Gambar 4.1 Skema Pembebanan Pada Gording Beban Mati.....	51
Gambar 4.2 Skema Pembebanan Pada Gording Beban Hidup.....	52
Gambar 4.3 Skema Pembebanan Pada Gording Beban Angin.....	57
Gambar 4.4 Skema Pembebanan Pada Gording Beban Air Hujan.....	58
Gambar 4.5 Skema Pembebanan Pada Kuda-Kuda Beban Mati.....	60
Gambar 4.6 Skema Pembebanan Pada Kuda-Kuda Beban Hidup.....	61

Gambar 4.7 Skema Pembebanan Pada Kuda-Kuda Beban Angin.....	60
Gambar 4.9 Skema Pembebanan Pada Kuda-Kuda Air Hujan.....	68
Gambar 4.10 Jarak Antar Trekstang Pada Gording.....	71
Gambar 4.11 Trekstang.....	71
Gambar 4.12 Portal Gable Frame.....	73
Gambar 4.13 Penamaan Sambungan.....	82
Gambar 4.14 Skema Rafter Balok – Balok Puncak.....	83
Gambar 4.15 Diagram Tegangan Rafter Balok – Balok.....	85
Gambar 4.16 Diagram Tegangan Baut.....	87
Gambar 4.17 Skema Sambungan Las.....	88
Gambar 4.18 Skema Sambungan Rafter Balok – Balok.....	92
Gambar 4.19 Diagram Tegangan Rafter Balok – Kolom.....	94
Gambar 4.20 Diagram Kekuatan Baut.....	96
Gambar 4.21 Las Sudut.....	99
Gambar 4.22 Skema Pembebanan Pada Gording Akibat Beban Mati....	111
Gambar 4.23 Skema Pembebanan Pada Gording Akibat Beban Hidup..	113
Gambar 4.24 Skema Pembebanan Pada Gording Akibat Beban Angin..	117
Gambar 4.25 Struktur Portal Gable Frame.....	118
Gambar 4.26 Denah Atap Kuda – Kuda.....	119
Gambar 4.27 Skema Pembebanan Untuk Beban Mati.....	120
Gambar 4.28 Skema Pembebanan Untuk Beban Hidup.....	121
Gambar 4.29 Skema Pembebanan Pada Kuda – Kuda Akibat Angin...	126
Gambar 4.30 Skema Pembebanan Akibat Air Hujan.....	127
Gambar 4.31 Profil Gording C.....	128

Gambar 4.32 Jarak Antar Trekstang Pada Gording.....	130
Gambar 4.33 Penempatan Trekstang.....	131
Gambar 4.34 Portal Gable Frame.....	133
Gambar 4.35 Penampang Profil Baja T.....	133
Gambar 4.36 Penampang Profil Double Siku.....	139
Gambar 4.37 Penamaan Sambungan.....	143
Gambar 4.38 Skema Penyambungan Kolom – Balok.....	144
Gambar 4.39 Skema Penyambungan Kolom – Kolom.....	146
Gambar 4.40 Skema Sambungan Las.....	148
Gambar 4.41 Potongan Skema Sambungan Las.....	150
Gambar 4.42 Skema Penyambungan Kolom – Balok.....	151
Gambar 4.43 Diagram Tegangan Baut.....	154
Gambar 4.44 Skema Sambungan Las.....	157
Gambar 4.45 Potongan Skema Sambungan Las.....	158
Gambar 4.46 Skema Plat Penyambung.....	159
Gambar 4.47 Skema Sambungan Balok.....	163
Gambar 4.48 Skema Plat Penyambung.....	167
Gambar 4.49 Skema Penyambungan.....	169
Gambar 4.50 Skema Penyambungan Plat Simpul.....	173
Gambar 4.51 Skema Sambungan Plat.....	175
Gambar 4.52 Skema Sambungan Las.....	177
Gambar 4.53 Skema Potongan Sambungan Las.....	178
Gambar 4.54 Skema Sambungan Plat.....	178
Gambar 4.55 Skema Penyambungan Siku.....	179

Gambar 4.56 Skema Penyambungan Plat Simpul.....	182
Gambar 4.57 Skema Sambungan Las.....	184
Gambar 4.58 Skema Potongan Sambungan Las.....	185
Gambar 4.59 Skema Penyambungan Siku.....	185
Gambar 4.60 Skema Penyambungan Plat Simpul.....	189
Gambar 4.61 Skema Sambungan Las.....	191
Gambar 4.62 Skema Potongan Sambungan Las.....	192
Gambar 4.63 Skema Penyambungan Puncak.....	193
Gambar 4.64 Diagram Tegangan Baut.....	197
Gambar 4.65 Skema Sambungan Las.....	200
Gambar 4.66 Skema Potongan Sambungan Las.....	201
Gambar 4.67 Skema Sambungan Las.....	202
Gambar 4.68 Skema Sambungan Plat.....	203

DAFTAR NOTASI

E	: Modulus elastisitas baja (200.000 MPa)
G	: Modulus geser (80.000 MPa)
μ	: Angka poisson (0,30)
f_y	: Tegangan leleh baja
M_n	: Momen lentur nominal (Nmm)
M_u	: Momen lentur akibat beban terfaktor (Nmm)
ϕ_b	: Faktor reduksi untuk lentur (0,9)
ϕ_c	: Faktor reduksi untuk tekan (0,75)
ϕ_t	: Faktor reduksi untuk tarik (0,75)
D	: Beban mati (beban gaya berat dari elemen – elemen structural)
L_r	: Beban hidup atap
W	: Beban angin
R	: Beban air hujan
Z_x	: Modulus Penampang arah x (mm^3)
I	: Momen inersia profil (mm^4)
db	: Tinggi balok (balok asli) sebelum peninggian (mm)
S_g	: Modulus plastisitas penampang balok setelah peninggian (mm^3)
S_b	: Modulus plastisitas penampang balok sebelum peninggian (mm^3)
K_1	: Perbandingan tinggi balok setelah peninggian dan sebelum peninggian
h	: Pertambahan tinggi akibat pemotongan zig – zag (mm)
dt	: Tinggi penampang T perlu (mm)

t_w	: Tebal badang balok (mm)
t_f	: Tebal flens penampang (mm)
V_u	: Gaya geser yang terjadi (N)
e	: Panjang bidang horizontal (mm)
s	: Jarak antara panel (mm)
I_g	: Momen Inersia balok castella (mm^4)
I_T	: Momen inersia penampang T castella (mm^4)
t_f	: Tebal <i>flens</i> penampang (mm)
b_f	: Lebar <i>flens</i> penampang (mm)
λ_f	: Rasio kelangsingan <i>flens</i> (sayap)
λ_{pf}	: Rasio kelangsingan maksimum pada <i>flens</i> untuk elemen kompak
λ_w	: Rasio kelangsingan <i>web</i> (badan)
λ_{pw}	: Rasio kelangsingan maksimum pada <i>web</i> untuk elemen kompak
A_g	: Luas bruto komponen struktur komposit, mm^2
A_{sr}	: Luas batang tulangan menerus, mm^2
P_e	: Beban tekuk kritis elastis (N)
A_c	: Luas beton (mm^2)
A_s	: Luas penampang baja (mm^2)
E_c	: Modulus elastisitas beton = $0.043W_c^{1.5}\sqrt{f'_c}$, (MPa)
C_1	: Koefisien untuk perhitungan kekakuan dari suatu komponen struktur tekan komposit terbungkus beton.
F_{ysr}	: Tegangan leleh minimum yang disyaratkan dari batang tulangan,(MPa)

- I_c : Momen inersia penampang beton di sumbu netral elastis dari penampang komposit (mm^4)
- I_s : Momen inersia profil baja di sumbu netral elastis dari penampang, (MPa)
- I_{sr} : Momen inersia batang tulangan di sumbu netral elastis dari penampang komposit, (mm^4)
- K : Faktor panjang efektif
- f'_c : Kekuatan tekan beton yang disyaratkan, MPa
- W_c : Berat beton per unit volume ($1500 < W_c < 2500 \text{ kg/m}^3$)
- M_{nx} : Kuat lentur nominal terhadap sumbu x
- M_{ny} : Kuat lentur nominal terhadap sumbu y
- M_{ux} : Kuat lentur perlu terhadap sumbu x
- M_{uy} : Kuat lentur perlu terhadap sumbu y
- P_n : Kuat aksial nominal
- P_u : Kuat aksial menggunakan kombinasi beban DFBK, (N)
- ϕ : Faktor reduksi (untuk konektor harga itu dengan tipe kejadian, seperti 0,75 untuk retakan tarik. 0,65 untuk geser pada baut berkekuatan tinggi dan 0,75 untuk tumpuan baut pada sisi lubang).
- R_n : Kuat nominal baut (N)
- R_u : Beban terfaktor (N)
- S_1 : Jarak baut ke tepi (mm)
- S_2 : Jarak antara baut (mm)
- f_n : Tegangan tarik nominal, f_{nt} atau tegangan geser, f_{nv} (MPa)
- A_b : Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir (mm^2)

t_p	: Tebal plat (mm)
d	: Diameter baut nominal (mm)
f'_{nt}	: Tegangan tarik nominal yang dimodifikasi mencakup efek tegangan geser (MPa)
n_1	: Jumlah kolom baut
n_2	: Jumlah baris baut
f_u^b	: kuat tarik nominal baut
α	: Tinggi penampang tekan
R_{uw}	: Beban terfaktor las
R_{nw}	: Tahanan nominal per stauan panjang las (N/mm)
T_e	: Tebal efektif las (mm)
a	: Tebal las sudut (mm)
f_{uw}	: Kuat tarik las
L_w	: Panjang las yang dibutuhkan
N	: Panjang <i>base plate</i> (mm)
B	: Lebar <i>base plate</i> (mm)
A_1	: Luas permukaan <i>base plate</i> (mm ²)
A_2	: Luas permukaan yang ditumpu <i>base plate</i> (mm ²)
e	: Jarak eksentrisitas beban (mm)
T_u	: Gaya tarik Pada angkur
q	: Gaya merata pada plat (N/mm)
t_p	: Tebal <i>Base Plate</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi merupakan faktor pendukung bagi perkembangan ilmu konstruksi yang pada akhirnya membuat munculnya berbagai jenis dan model konstruksi yang ada pada saat ini, demi memenuhi kebutuhan yang ada dilapangan.

Perencanaan struktur rangka atap penting diperhatikan dalam perencanaan suatu bangunan. Struktur bangunan teratas ini akan menyalurkan gaya ke struktur dibawahnya dan akan diteruskan sampai ke tanah. Untuk itu keamanan, kenyamanan, *durability*, dan efisiensi merupakan faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan jenis struktur rangka atap.

Sistem rangka atap konvensional yang mulai diperkenalkan sejak jaman penjajahan Belanda terdiri dari beberapa struktur penyokong, diantaranya rangka kuda-kuda, gording, kasau/usuk, dan reng. Kuda-kuda yang dipergunakan menggunakan bahan kayu dengan dimensi yang cukup besar dan jarak kuda-kuda berkisar antara 3 meter. Permasalahan yang sering timbul saat pengerjaan, dimana hubungan antar kayu pada sistem rangka atap tersebut memepergunakan sistem hubungan yang cukup rumit. Kualitas produk kuda-kuda tidak seragam, waktu pengerjaan yang cukup lama, hasil bentuk atap tergantung kompetensi sumber daya manusia, dan terjadinya kesulitan-kesulitan selama tahap konstruksi, misalnya dalam hal pengangkatan kuda-kuda. Sistem ini juga memiliki keterbatasan dalam kuda-kuda dengan bentangan besar akan menimbulkan lendutan yang besar pula.

Suatu bangunan yang menggunakan bahan atau komponen logam, seperti baja dan almunium, dapat dinilai sebagai bahan yang ekologis, karena mampu digunakandan diolah kembali material yang pernah dipakai (*reuse and recycling*) menjadi material atau produk lain yang berguna (Peter Graham, 2003). Sifat mekanis baja yang mempunyai kekuatan tinggi dikembangkan pemakaiannya pada struktur rangka atap. Bahan baja yang digunakan

diperoleh dengan menghaluskan struktur mikro, sehingga produk menjadi lebih ringan dan kompak.

Penghematan energi dapat didapatkan karena pengurangan beban pada penggunaannya, serta eksploitasi terhadap sumber daya dapat menurun. Perkembangan sistem rangka atap baja ringan makin pesat, dimana ditandai dengan munculnya fabrikator-fabrikator maupun aplikator-aplikator rangka baja ringan pada industri konstruksi Indonesia, memerlukan pengkajian yang lebih mendalam terhadap sistem rangka atap tersebut.

Perbandingan Struktur Gable Frame menggunakan profil baja WF dan profil baja siku pada Hanggar pesawat ini adalah langka awal dalam mengetahui penggunaan profil baja yang mana yang digunakan sehingga kita mendapatkan struktur hanggar yang ekonomis , efektif dan efisien dalam pemilihan bahan pada hanggar pesawat.

Berdasarkan pertimbangan tersebut diatas, maka penulis mencoba alternatif perbandingan perencanaan struktur *Gable Frame* menggunakan profil Baja WF dengan struktur Rangka menggunakan profil Baja Siku pada Hanggar Pesawat Tempur Hercules di Pangkalan Militer TNI AU Abdurrahman Saleh Malang

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas perlu dikemukakan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapa dimensi penampang yang diperlukan untuk baja WF dan profil baja siku ?
2. Berapa jumlah baut yang digunakan pada sambungan struktur gable frame dengan menggunakan profil baja WF dan struktur rangka menggunakan profil baja siku ?
3. Berapa perbandingan berat pada struktur gable frame dengan menggunakan profil baja WF dan struktur rangka menggunakan profil baja siku ?

1.3. Maksud dan Tujuan

Adapun maksud dan tujuan penulis dari studi analisis perbandingan antara struktur Gable Frame menggunakan profil Baja WF dengan struktur rangka menggunakan profil Baja Siku ini adalah :

1. Untuk mengetahui dimensi penampang yang diperlukan untuk baja WF dan profil baja siku
2. Untuk mengetahui berapa jumlah baut yang digunakan pada struktur gable frame dengan menggunakan profil baja WF dan struktur rangka menggunakan profil baja siku
3. Untuk mengetahui perbandingan berat struktur gable frame dengan menggunakan profil baja WF dan struktur rangka menggunakan profil baja siku.

1.4. Batasan Masalah

Untuk memperjelas analisis ini gar lebih mengarah kepada pembahasannya, maka perlu adanya batasan-batasan masalah antar lain :

Adapun batasan masalah tersebut melingkupi antar lain :

1. Perencanaan dimensi profil baja WF (*Wide Flange*) dan baja siku.
2. Perencanaan sambungan (*Connection*)
3. Analisa berat pada profil baja WF (*Wide Flange*) dan struktur rangka baja siku.

Sedangkan peraturan yang dipakai sebagai acuan dalam perencanaan struktur Gable Frame :

- Beban minimum untuk perencanaan gedung dan struktur lain, (SNI 1727-2013)
- Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung, (SNI 03-1729-2002)
- Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, (SNI 1729-2015)
- AISC, *Manual of Steel Construction*, Thirteenth Edition, 2005, American Institute of Steel Construction, Inc. Chicago.

- AISC, LRFD, *Manual of Steel Construction*, Secon Edition, 1994, (volume I : *Structural Member, Spesification, And Codes* ; volume II : *Connection*) American Institute of Steel Construction, Inc. Chicago.

1.5. Manfaat Analisis

Analisis ini dilakukan dengan harapan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan informasi tentang analisa perbandingan dari berbagai segi yang ditinjau dengan menggunakan kesamaan struktur kuda-kuda.
2. Memberikan informasi tetang kelayakan struktur mana yang lebih baik digunakan pada struktur atap.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Teori Load Resistance Factor Design (LRFD)Struktur Baja

Desain yang sesuai dengan ketentuan untuk desain Load Resistance Factor Design (LRFD) memenuhi persyaratan spesifikasi ini bila kekuatan desain setiap komponen struktural sama atau melebihi kekuatan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban LRFD.

Desain harus dilakukan sesuai dengan persamaan :

$$R_u \geq \phi R_n \quad (2.3-1)$$

Dimana :

ϕ = Faktor Ketahanan

R_n = Kekuatan Nominal

ϕR_n = Kekuatan desain

R_u = Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban LRFD

Kekuatan harus dibuat sesuai dengan ketentuan Load Resistance Factor Design (LRFD). Kekuatan perlu komponen struktur dan sambungan harus ditentukan melalui analisis struktur untuk kombinasi beban yang sesuai. Desain harus berdasarkan pada prinsip bahwa kekuatan atau keadaan batas kemampuan layan tidak dilampaui saat struktur menahan semua kombinasi beban yang sesuai. (SNI 1729:2015, Pasal B3)

2.1.1 Faktor Reduksi

Faktor reduksi dalam perencanaan struktur berdasarkan Load Resistance Factor Design (LRFD) ditentukan dalam SNI 1729:2015, sebagai berikut :

- | | |
|---|---------------|
| a) Komponen struktur memikul lentur | $\phi = 0,90$ |
| b) Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial | $\phi = 0,90$ |

- c) Komponen struktur yang memikul gaya tarik
1. Terhadap kuat tarik leleh $\phi = 0,90$
 2. Terhadap kuat tarik fraktur $\phi = 0,75$
- d) Komponen struktur yang memikul gaya aksial dan lentur $\phi = 0,90$
- e) Komponen struktur komposit
1. Kuat tekan $\phi = 0,75$
 2. Kuat tumpu beton $\phi = 0,60$
 3. Kuat lentur dengan distribusi tegangan plastik $\phi = 0,85$
 4. Kuat lentur dengan distribusi tegangan elastik $\phi = 0,90$
- f) Sambungan baut $\phi = 0,75$
- g) Sambungan las
1. Las tumpul penetrasi penuh $\phi = 0,90$
 2. Las sudut, las tumpul penetrasi sebagian, las pengisi $\phi = 0,75$

2.1.2 Kombinasi Dasar metode Load Resistance Factor Design (LRFD)

Struktur, Komponen, dan fondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi.

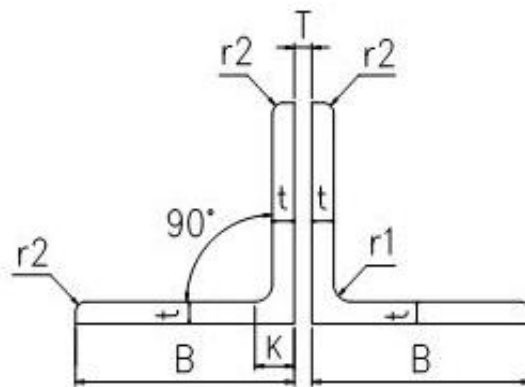
Menurut SNI 1727:2013 kombinasi beban yang harus diperhitungkan adalah :

- $1,4 D$
- $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
- $1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
- $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
- $1,2 D \pm 1,0 E + L$
- $0,9 D + 1,0 W$
- $0,9 D + 1,0 E$

Dimana :

- D = Beban Mati (beban gaya berat dari elemen-elemen struktural)
- L = Beban Hidup (beban yang dapat bergerak)
- L_r = Beban Hidup Atap
- W = Beban angin
- R = Beban hujan
- E = Beban gempa

2.2 Profil Baja Siku Ganda



Gambar 2.1 spesifikasi profil Baja Siku Ganda

Profil siku ganda adalah gabungan dua buah profil siku, di mana antara profil yang satu dengan profil yang lain dirangkai sedemikian rupa sehingga membentuk satu kesatuan. Untuk membentuk profil siku ganda diperlukan penghubung yang berupa pelat kopel. Hubungan profil dengan penghubungnya dapat dilaksanakan dengan baut, paku keling, atau las.

2.2.1 Perhitungan Defleksi

Defleksi pada struktur rangka batang atau peralihan titik buhul dapat ke arah vertikal dan horisontal (pada arah vertikal biasanya disebut juga dengan lendutan/penurunan). Untuk menghitung defleksi pada rangka batang dapat digunakan metoda :

Metode Grafis – Diagram Williot-Mohr

Metode beban-sudut dan metode persamaan perpindahan-titik-hubung merupakan metode-metode aljabarlah yang menggunakan hanya hubungan-hubungan geometri. Karena itu mudahlah disimpulkan bahwa lendutan horisontal dan vertikal disemua titik-hubung dapat diperoleh dengan suatu solusi grafis. Secara teoritis, bentuk rangka batang yang terdeformasi dapat digambarkan dengan menggunakan panjang-panjang baru anggota sebagai sisi-sisi segitiga komponen. Tetapi panjang-panjang yang telah berubah itu hanyalah sedikit lebih panjang atau lebih pendek dari pada panjang semula. Kesulitan ini dapat dihindari dengan menggunakan suatu metode yang disarankan oleh Williot pada tahun 1877. Didalam metode ini, dua skala yang berbeda dipakai dalam menggambarkan panjang semula L dan ubahan panjang ΔL .

Tinjaulah rangka batang pada Gambar 3.7.1a yang bentuk aslinya adalah $ABCDE$. Perumpamaan bahwa perubahan panjang ketujuh anggotanya adalah +3, -4, -5, +6, +7, -8, dan +9 satuan kecil, sebagai mana dituliskan pada anggota-anggota yang bersangkutan pada Gambar 3.7.1a. lokasi baru dari titik-titik hubungannya adalah A' , B' , C' , D' , dan E' , sementara titik hubung C' ditempatkan diatas C dan anggota $C'B'$ ditempatkan diatas CB . Posisi-posisi yang baru ini dapat ditentukan secara grafis dengan menggambarkan segitiga-segitiga baru $C'B'E'$, $C'B'D'$ dan $D'B'E'$ dalam urutan sebagai berikut:

$$\delta = \sum u_i \times (\Delta l)_i$$

Dengan :

- δ = Peralihan vertikal dan horisontal titik kumpul.
- u_i = Gaya batang akibat satu satuan yang dipasang pada titik kumpul yang akan dicari peralihannya (arah beban sama dengan arah peralihan yang diminta)
- $(\Delta l)_i$ = Perpanjangan atau perpendekan batang akibat beban yang diketahui

Perpanjangan atau perpendekan batang akibat beban dihitung dengan persamaan :

$$\Delta l = \frac{S.L}{A.E}$$

Dengan :

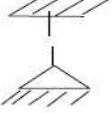



- S = Gaya batang akibat beban yang bekerja
- L = Panjang Batang
- A = Luas Penampang Batang
- E = Modulud Elastisitas Batang

2.2.2 Faktor Panjang Tekuk (K_c)

Kuat tekan batang dapat diketahui setelah kelangsingan batang tersebut diketahui, sedangkan kelangsingan batang dapat diketahui setelah faktor tekuknya diketahui. Menurut Padosbajayo (1994), secara umum dapat dikemukakan bahwa faktor panjang tekuk untuk kolom portal yang tidak bergoyang lebih kecil atau sama dengan 1 ($K_c \leq 1$), sedangkan faktor panjang tekuk untuk kolom yang bergoyang lebih besar dari 1 ($K_c > 1$).

Kolom ideal adalah kolom yang berdiri sendiri dengan ujung – ujung kolom bebas, sendi atau jepit sempurna. Kolom ideal jarang dijumpai pada struktur sesungguhnya. Keadaan yang umum dijumpai pada struktur sesungguhnya, ujung – ujung kolom dihubungkan dengan batang – batang lain menggunakan alat sambung berupa baut, paku keling, atau las.

Tentu saja sifat sambung tidak persis suatu anggapan untuk keadaan sesungguhnya. Untuk tujuan perancangan anggapan kolom ideal umum digunakan. Faktor panjang tekuk kolom ujung – ujung ideal disajikan dalam tabel dibawah ini:

Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai K_c teoritis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Nilai k_c yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0,65	0,8	1,2	1,0	2,1	2,0
Kode ujung	   					

Tabel 2.1 Nilai K_c untuk kolom dengan ujung – ujung yang ideal

Sumber : SNI 2002

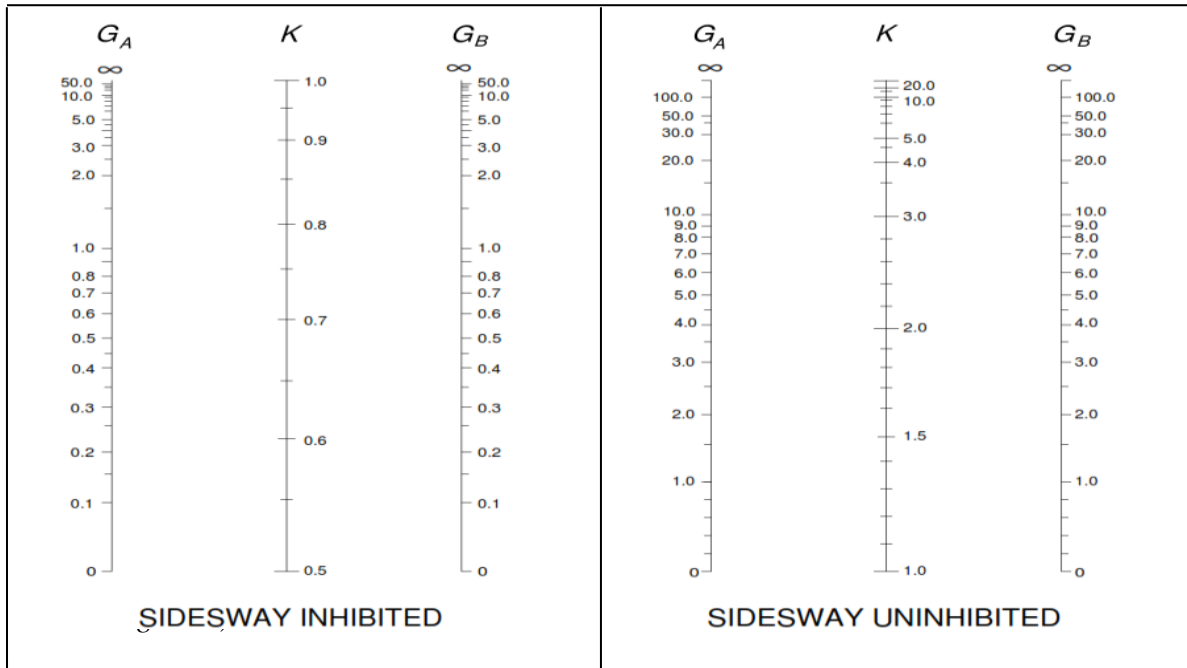
Sistem rangka batang (truss) adalah struktur yang terbentuk dari elemen – elemen batang lurus, dimana sambungan antar ujung – ujung batang diasumsikan sendi sempurna. Struktur seperti ini dapat dipandang sebagai struktur pada gambar, dimana nilai K_c adalah 1.

Kekuatan kolom mengasumsikan ujung sendi di mana tidak ada kekangan rotasional momen. Kekangan momen nol pada ujung merupakan situasi paling lemah untuk batang tekan yang salah satu ujungnya tidak dapat bergerak transversal relatif terhadap ujung lainnya. Untuk kolom berujung sendi, panjang ekivalen ujung sendi KL merupakan panjang L sebenarnya; dengan demikian $K = L$. Panjang ekivalen berujung sendi disebut sebagai panjang efektif. Untuk memaksa sendi plastis pada balok, maka kolom dibuat lebih kuat (*over strenght*). Untuk maksud tersebut, maka kolom direncanakan masih dalam keadaan elastis. Panjang efektif kolom (L_k) didapat dengan mengalihkan suatu faktor panjang efektif (k) dengan panjang kolom (L), nilai “ k ” didapat dari nomograf (*AISC, LRFD; Manual Of Steel Counstruction, Column Design 3-6*), dengan menghitung nilai G , yaitu :

$$G = \frac{\sum (I / L) \text{ kolom}}{\sum (I / L) \text{ balok}}$$

Dimana :

I : Momen kelembaman kolom/balok (cm⁴)
L : Panjang kolom/balok (cm)



Gambar 2.2 Nomograf panjang tekuk kolom portal

$$G = \frac{I_{KOLOM}}{I_{BALOK}}$$

I balok = tumpuan jepit dianggap kaku sekali $I = \infty$

$$G = \frac{I_{KOLOM}}{\infty} = 0$$

Maka, diasumsikan 1

Sendi = kekakuan dianggap 0

$$G = \frac{I_{KOLOM}}{0} = \infty$$

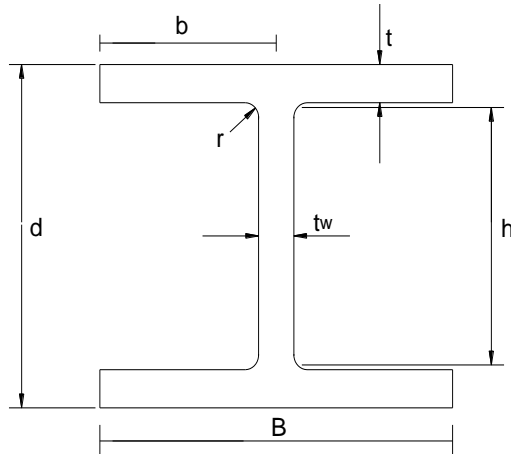
Maka, diasumsikan 10

Kolom dengan kekangan yang besar terhadap rotasi dan translasi pada ujung-ujungnya (contohnya tumpuan jepit) akan mampu menahan beban yang besar dibandingkan dengan kolom yang mengalami rotasi serta translasi pada bagian tumpuannya (contohnya adalah tumpuan sendi). Selain tumpuan ujung, besar beban yang dapat diterima oleh suatu komponen struktur tekan juga tergantung dari panjang efektifnya. Semakin kecil panjang efektif suatu komponen struktur tekan, maka semakin kecil pula resiko terhadap masalah tekuk.

Panjang efektif suatu kolom secara sederhana dapat didefinisikan sebagai jarak diantara dua titik pada kolom tersebut yang mempunyai momen sama dengan nol, atau didefinisikan pula sebagai jarak diantara dua titik balok dari kelengkungan kolom.

2.4 Baja profil WF (Wide Flange)

Baja Berat WF (Wide Flange) mempunyai kekuatan yang tinggi dan sama kuat pada kekuatan tarik maupun tekan. WF (Wide Flans) juga merupakan balok besi dengan ruas utama yang lebar.



Gambar 2.2 spesifikasi profil wide flange

2.4.1 Kontrol Tekuk Torsi – Lateral

(SNI 1729:2002, hal 34)

Memenuhi $L \leq L_p$ (lihat Tabel berikut);

(SNI 1729:2015, hal 51)

a) Bila $L_b \leq L_p$, keadaan batas dari tekuk torsi – lateral tidak boleh digunakan.

b) Bila $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (\text{F2-2})$$

c) $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (\text{F2-3})$$

Keterangan :

L_b = panjang antara titik – titik, baik yang dibreising melawan perpindahan lateral sayap tekan atau dibreising melawan puntir penampang melintang, in. (mm)

$$F_{cr} = \frac{Cb\pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{S_{xho}} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \quad (F2-4)$$

Keterangan :

E = modulus elastis baja = 29 000 ksi (200 000 MPa)

J = konstanta torsi, in⁴. (mm⁴)

S_x = modulus penampang elastis di sumbu x, in³. (mm³)

h_o = jarak antara titik berat sayap, in. (mm)

Catatan : Istilah akar pangkat dua pada persamaan F2-4 dapat secara konservatif diambil sama dengan 1,0.

Catatan : Persamaan F2- 3 dan persamaan F2-4 memberi solusi identik terhadap pernyataan yang berikut untuk tekuk torsi-lateral dari penampang simetris ganda yang telah disajikan dalam edisi sebelumnya Spesifikasi DFBK AISC :

$$M_{cr} = Cb \frac{\pi}{L_b} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_y C_w}$$

Manfaat persamaan F2-3 dan F2-4 adalah bentuk tersebut sangat serupa dengan pernyataan untuk tekuk torsi – lateral dari penampang simetris tunggal yang diberikan dalam Persamaan F4-4 dan F4-5.

Pembatasan panjang L_p dan L_r ditentukan sebagai berikut :

$$L_p = 1,76r \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (F2-5)$$

$$L_r = 1,95r_{ts} \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_{xho}} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_{xho}}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7F_y}{E}\right)^2}} \quad (F2-6)$$

Dimana:

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \quad (F2-7)$$

dan koefisien c ditentukan sebagai berikut :

$$(a) \text{ Untuk profil I simetris ganda : } c = 1 \quad (F2-8a)$$

$$(b) \text{ Untuk kanal : } c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}} \quad (F2-8b)$$

Catatan : Untuk profil I simetris ganda dengan sayap persegi,

$$C_w = \frac{I_y h_o^2}{4} \text{ dan persamaan F2-7 menjadi } r_{ts}^2 = \frac{I_y h_o}{2 S_x}$$

r_{ts} boleh diperkirakan secara teliti dan konservatif sebagai radius girasi dari sayap tekan ditambah seperenam dari badan :

$$r_{ts} = \frac{bf}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{htw}{bftf} \right)}}$$

2.4.2 Komponen struktur menahan tekanan Aksial

(SNI 1729:2015,table B4.1a)

$$\text{Sayap} \quad \lambda = b/t \leq 0,64 \sqrt{\frac{K_c E}{F_y}} \quad (2.5.1 - 1)$$

$$\text{Badan} \quad \lambda = h/tw \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.5.1 - 2)$$

Kekuatan tekan desain ditentukan dari (SNI 1729:2015,hal 35)

$$P_c = \phi_c \cdot P_n \quad (2.5.1 - 4)$$

Dimana :

P_c = kekuatan tekan desain

ϕ_c = koefisien tekan = 0,90

P_c = Kekuatan tekan nominal ($F_{cr} \cdot A_g$)

F_{cr} = tegangan kritis

A_g = luas penampang

2.4.3 Komponen Struktur menahan tekanan Lentur

(SNI 1729:2015,table B4.1b)

Kompak ($\lambda < \lambda_p$)

$$\text{Sayap} \quad \lambda = b/t \leq \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.5.2 - 1)$$

$$\text{Badan} \quad \lambda = \frac{h}{tw} \leq \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.5.2 - 2)$$

Non Kompak ($\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$)

$$\text{Sayap} \quad \lambda = b/t \leq \lambda_p = 1,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.5.2 - 3)$$

$$\text{Badan} \quad \lambda = \frac{h}{tw} \leq \lambda_p = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.5.2 - 4)$$

Kekuatan tekan desain ditentukan dari (SNI 1729:2015,hal 47)

$$M_b = \phi b \cdot M_n \quad (2.5.2-5)$$

Dimana :

M_b = kekuatan tekan desain

ϕb = koefisien tekan = 0,90

M_n = kekuatan tekan nominal ($M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$)

Kontrol desain komponen struktur untuk kombinasi lentur dan tekan

(SNI 1729:2015,hal 79)

Bila $\frac{Pr}{P_c} \leq 0,2$ menggunakan persamaan

$$\frac{Pr}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mr_x}{M_{cx}} + \frac{Mr_y}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (2.5.2-6)$$

Bila $\frac{Pr}{P_c} \leq 0,2$ menggunakan persamaan

$$\frac{Pr}{2P_c} + \left(\frac{Mr_x}{M_{cx}} + \frac{Mr_y}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (2.5.2-7)$$

Dimana :

Pr = Kekuatan aksial perlu, N

Mr = kekuatan lentur perlu, Nmm

X = Sumbu kuat lentur

Y = Sumbu lemah lentur

2.4.4 Perhitungan Defleksi

Defleksi pada struktur rangka batang atau peralihan titik buhul dapat ke arah vertikal dan horisontal (pada arah vertikal biasanya disebut juga dengan lendutan/penurunan). Untuk menghitung defleksi pada rangka batang dapat digunakan metoda :

Metode “*Slope Deflection*”

Metode ini memakai rotasi batang sebagai variabel dikategorikan sebagai “*Flexibility Method*”. Dengan ketentuan bahwa pada batang-batang yang bertemu pada suatu titik simpul (Joint) yang disambung secara kaku mempunyai rotasi yang sama, besar maupun arahnya, maka pada batang-batang yang bertemu pada titik simpul tersebut mempunyai rotasi yang sama, atau boleh dikatakan sama dengan rotasi titik simpulnya. Jumlah titik simpul (joint) struktur tersebut.

2.5 Perencanaan Sambungan

Sambungan dalam suatu struktur merupakan bagian yang tidak mungkin diabaikan begitu saja, karena kegagalan pada sambungan dapat mengakibatkan kegagalan struktur secara keseluruhan.

Syarat – syarat sambungan :

- Harus kuat, aman tetapi cukup ekonomis.
- Mudah dalam pelaksanaan pemasangan dilapangan.
- Persyaratan keamanan yang diberikan LRFD untuk peyambung persamaannya menjadi :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.7-1)$$

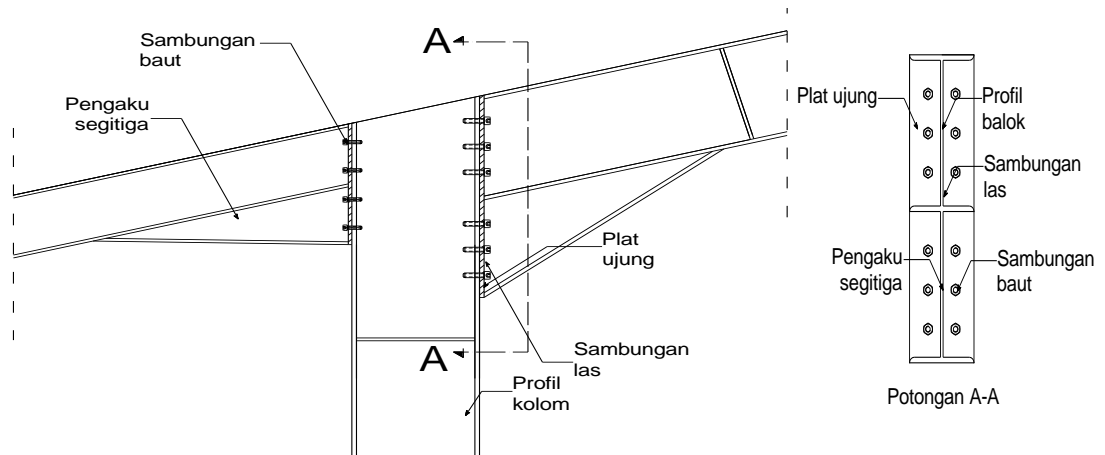
Dimana :

ϕ = Faktor reduksi (untuk konektor harga itu dengan tipe kejadian, seperti 0,75 untuk retakan tarik. 0,65 untuk geser pada baut berkekuatan tinggi dan 0,75 untuk tumpuan baut pada sisi lubang).

R_n = Kuat nominal baut

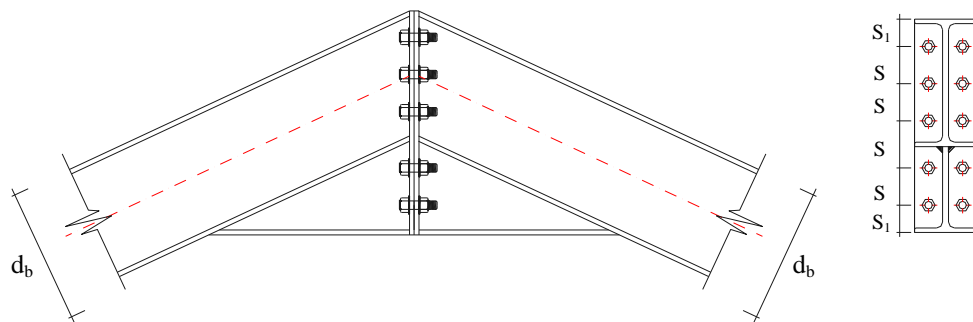
R_u = Beban terfaktor

2.5.1 Sambungan Balok - Kolom



Gambar 2.3 Sambungan kolom – balok

2.5.2 Sambungan Balok Ujung - Balok Ujung



Gambar 2.4 Sambungan Balok ujung – Balok ujung

Pada prinsipnya menggunakan sambungan momen plat ujung (End-plate moment connection) yang telah dibahas sebelumnya pada sub bab sambungan kolom – balok.

2.5.3 Sambungan Baut

Kontrol jarak antar baut :

- Jarak baut ke tepi (S1)
-

Tabel 2.3 Jarak Tepi Minimum

Diameter baut (in.)	Jarak tepi minimum
1/2	3/4
5/8	7/8
3/4	1
7/8	1 1/8
1	1 1/4
1 1/8	1 1/2
1 1/4	1 5/8
Di atas 1 1/4	1 1/4 x d

c. Jarak antar baut (S2)

Jarak antara pusat – pusat standar, ukuran berlebih, atau lubang – lubang slot tidak boleh kurang dari 2 2/3 kali diameter nominal, d, dari pengencang, jarak 3d yang lebih umum.

Sumber :SNI 1729:2015, hal 128

Kuat nominal terhadap tarik dan geser :

$$\phi . Rn = fn . Ab \quad (2.7.1-1)$$

Dimana :

Rn : Kuat tarik nominal

ϕ : Faktor reduksi tarik (0,75)

fn : Tegangan tarik nominal, fnt , atau tegangan geser, fnv (MPa)

Ab : Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir (mm²)

Tabel 2.4 Kekuatan nominal pengencang dan bagian yang berulir

Deskripsi pengencang	Kekuatan tarik nominal, f_{nt} (MPa)	Kekuatan geser nominal dalam sambungan tipe tumpu, f_{nv} (MPa)
Baut A307	310	188
Baut group A(misal,A325), bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	620	372
Baut group A(misal,A325), bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	620	457
Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	780	457
Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	780	579
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan pasal A3.4, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	$0,75 f_u$	$0,45 f_u$
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan pasal A3.4, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	$0,75 f_u$	$0,563 f_u$

Kuat nominal tumpu pada lubang – lubang baut :

$$\emptyset.Rn = 1,2 \cdot l_c \cdot t_p \cdot f_u \leq 2,4 \cdot d \cdot t_p \cdot f_u \quad (2.7.1-2)$$

Dimana :

Rn : Kuat tumpu nominal

\emptyset : Faktor reduksi tumpu (0,75)

f_u : Kuat tarik putus terendah dari baut atau plat (MPa)

t_p : Tebal plat (mm)

d : Diameter baut nominal (mm)

l_c : Jarak bersih, dalam arah gaya, antara tepi lubang dan tepi lubang yang berdekatan atau tepi dari baut atau plat (mm)

Menentukan Jumlah Baut :

$$n = \frac{Ru}{\emptyset.Rn} \quad (2.7.1-3)$$

Dimana :

n : Jumlah baut

Rn : Tahanan nominal baut

Ru : Beban terfaktor

Kombinasi terhadap tarik dan geser :

$$\emptyset.Rn = f'nt \cdot A_b \quad (2.7.1-4)$$

Sumber : SNI 1729:2015

Catatan : Bila tegangan yang diperlukan (frv) kurang dari atau sama dengan 30 % dari tegangan yang tersedia, maka efek kombinasi tegangan tidak perlu diperiksa.

$$f'nt = 1,3 \cdot fnt - \frac{fnt}{\emptyset.fnv} frv \leq fnt \quad (2.7.1-5)$$

Dimana :

A_b : Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir (mm²)

$f'nt$: Tegangan tarik nominal yang dimodifikasi mencakup efek tegangan geser (MPa)

- ϕ : Faktor reduksi(0,75)
 f_{nt} : Tegangan tarik nominal (MPa)
 f_{nv} : Tegangan geser (MPa)
 f_{rv} : Tegangan geser yang diperlukan menggunakan kombinasi beban LRFD (MPa)

Kontrol terhadap momen :

$$\phi . M_n = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot a^2 \cdot b}{2} + \sum_{i=1}^n T \cdot d_i \quad (2.7.1-6)$$

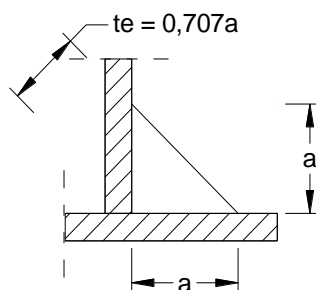
$$a = \frac{0,75 \cdot f_u^b \cdot n_b \cdot n \cdot A_b}{f_y \cdot b} \quad (2.7.1-7)$$

$$\sum_{i=1}^n T \cdot d_i = 0,75 \cdot f_u^b \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot A_b \cdot (d_i \text{ terjauh}) \quad (2.7.1-8)$$

Dimana :

- n_1 : Jumlah kolom baut
 n_2 : Jumlah baris baut
 A_b : Luas penampang baut
 b : Lebar balok
 a : Tinggi penampang tekan
 f_u^b : Kuat tarik nominal baut
 f_y : Tegangan leleh

2.5.4 Sambungan Las pada Plat Ujung



Gambar 2.5 Tebal efektif las sudut

Tebal Las Sudut

Tabel 2.5 Ukuran minimum las sudut

Tebal plat (t) mm	Ukuran min. Las sudut, a (mm)
$t \leq 6$	3
$6 \leq t \leq 13$	5
$13 \leq t \leq 19$	6
$t > 19$	8

Sumber : SNI 1729:2015

Ukuran maksimum dari las sudut dari bagian – bagian yang tersambung harus :

- Sepanjang tepi material dengan ketebalan kurang dari 6 mm, tidak lebih besar dari ketebalan material.
- Sepanjang tepi material dengan ketebalan 6 mm atau lebih, tidak lebih besar dari ketebalan material dikurangi 2 mm, kecuali las yang secara khusus diperlihatkan pada gambar pelaksanaan untuk memperoleh ketebalan throat penuh. Untuk kondisi las yang sudah jadi, jarak antara tepi logam dasar dan ujung kaki las boleh kurang dari 2 mm bila ukuran las secara jelas dapat diverifikasi.

Kontrol sambungan las

$$R_u \leq \phi R_{nw} \quad (2.7.10)$$

Dimana :

R_u : Beban terfaktor las

R_{nw} : Tahanan nominal per satuan panjang las

ϕ : Faktor reduksi (0,75)

Tabel 2.6 Tipe Elektroda las

Elektroda	Tegangan leleh minimum		Kuat tarik minimum	
	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)

E 60	50	354	67	460
E 70	57	495	70	485
E 80	67	460	72	495
E 100	87	600	100	690
E 110	97	670	110	760

Sumber: (Padosbajayo, 1994)

Tahanan nominal Las

$$\phi R_{nw} = \phi \cdot t_e \cdot 0,6 f_{uw} \quad (2.7.11)$$

Dimana :

ϕ : Faktor reduksi (0,75)

t_e : Tebal efektif las (0,707a) dengan a = tebal las sudut

f_{uw} : Mutu las

Panjang Las maksimum :

$$L_w = 2 \cdot (b_b - t_w) \quad (2.7.12)$$

Dimana :

L_w : Panjang maksimum las

t_w : Tebal badan(web) profil baja

b_b : Lebar plat ujung

Kekuatan yang diberikan oleh sambungan las

$$\phi M_n = \phi M_p \quad (2.7.13)$$

Dimana :

M_n : Momen nominal

M_p : Momen plastis

ϕ : Faktor reduksi (0,9)

$$T_u maks = \frac{\phi \cdot M_n}{h_b - t_{fb}} \quad (2.7.14)$$

Dimana :

M_n : Momen nominal

h_b : Tinggi plat ujung

t_{pb} : Tebal plat ujung

ϕ : Faktor reduksi (0,9)

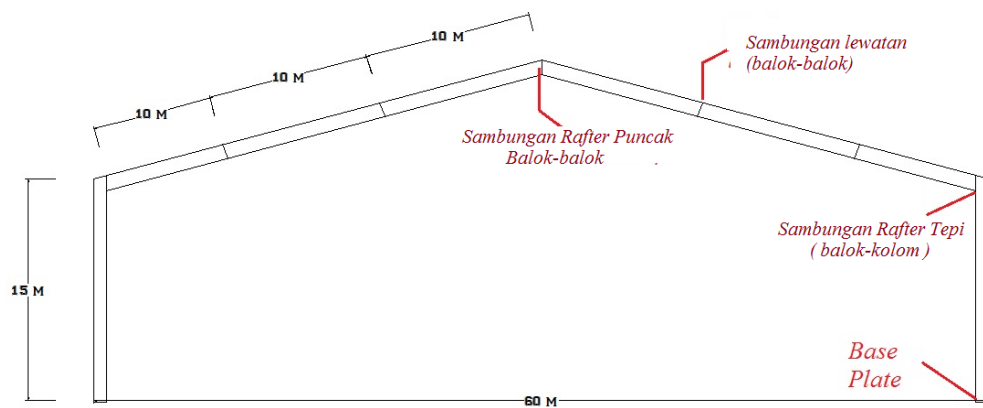
$$T_u maks > L_w \cdot \phi \cdot R_{nw} \quad (2.7.15)$$

Dimana :

L_w : Panjang maksimum las

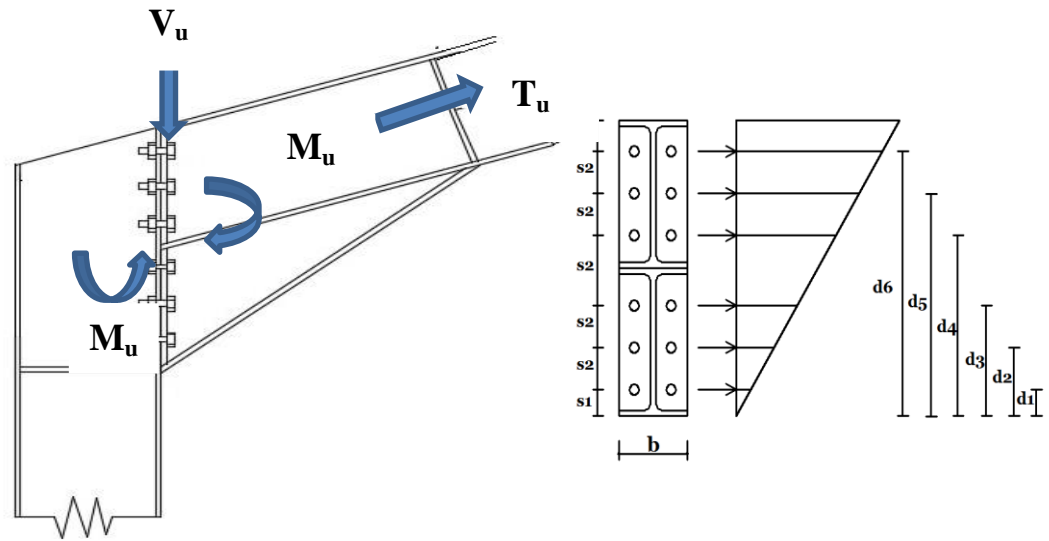
$T_u maks$: Gaya tarik terbesar

2.5.5 Sambungan Sambungan Yang Ada Pada Hanggar



Gambar 8. Letak letak sambungan pada Hanggar

2.5.5.1 Sambungan Rafter Tepi (Sambungan Balok-Kolom)



Gambar 9. Model **Sambungan Balok kolom** dan **diagram Tegangan baut**.

V_u = Gaya geser terfaktor

M_u = Momen lentur

S_1 = Jarak baut dan tepi

S_2 = Jarak antar baut

- Tahanan nominal baut terhadap tarik

$$\phi_f \cdot T_n = \phi_f \cdot (0,75 \cdot f_b^u) \cdot A_b$$

(2.5.3.1.1)

Dimana :

ϕ_f : 0,75 adalah factor reduksi kekuatan untuk fraktur

f_b^u : tegangan Tarik putus baut

A_b : luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

- Tahanan nominal baut terhadap geser

$$\phi_f \cdot V_n = \phi_f \cdot r_l \cdot f_b^u \cdot A_b$$

(2.5.3.1.2)

Dimana :

r_l : 0,5 untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

r_l : 0,4 untuk baut dengan ulir pada bidang geser

- Tahanan nominal baut terhadap tumpu

$$\phi_f \cdot R_n = 2,4 \cdot \phi_f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

(2.5.3.1.3)

Dimana

d_b : diameter baut nominal pada daerah tak berulir

t_p : 0,9 cm tebal pelat pada kolom

f_u : Tegangan tarik pelat

- Jumlah baut yang dibutuhkan

$$n = \frac{V_u}{\phi \cdot R_n}$$

(2.5.3.1.4)

Dimana :

n : Jumlah baut

R_n : Tahanan nominal baut terhadap geser

V_u : Beban terfaktor

- Kuat nominal baut terhadap geser dan Tarik

$$f_{uv} = \frac{V_u}{n \cdot A_b} \leq r_l \cdot \phi_f \cdot f_b^u \cdot m$$

(2.5.3.1.5)

Dimana :

m : jumlah bidang geser

- Kontrol Momen

$$\phi . M_n = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot a^2 \cdot b}{2} + \sum_{i=1}^n T \cdot d_i$$

(2.5.3.1.6)

$$a = \frac{0,75 \cdot f_u^b \cdot n_b \cdot n \cdot A_b}{f_y \cdot b}$$

(2.5.3.1.7)

$$\sum_{i=1}^n T \cdot d_i = 0,75 \cdot f_u^b \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot A_b \cdot (d_i \text{terjauh})$$

(2.5.3.1.8)

Dimana :

n_1 : Jumlah kolom baut

n_2 : Jumlah baris baut

A_b : Luas penampang baut

b : Lebar balok

a : Tinggi penampang tekan

f_u^b : Kuat tarik nominal baut

f_y : Tegangan leleh plat

d_i : Jarak terjauh baut

$$\phi . M_n \geq M_u$$

(2.5.3.1.9)

- Kontrol kekuatan sambungan

Besarnya tegangan geser yang terjadi pada plat badan

$$\tau_v = M / (t_w \cdot d_{\text{balok}} \cdot d_{\text{kolom}})$$

(2.5.3.1.10)

Dimana :

M : momen

t_w : tebal pelat badan (web)

d : ukuran badan profil (web) cm

- Besarnya tegangan geser yang diijinkan pada plat badan

$$\bar{\sigma} = 0,6 \cdot f_y$$

(2.5.3.1.11)

$$\tau_v \leq \bar{\sigma}$$

(2.5.3.1.12)

- Besarnya tebal pelat badan yang diperlukan

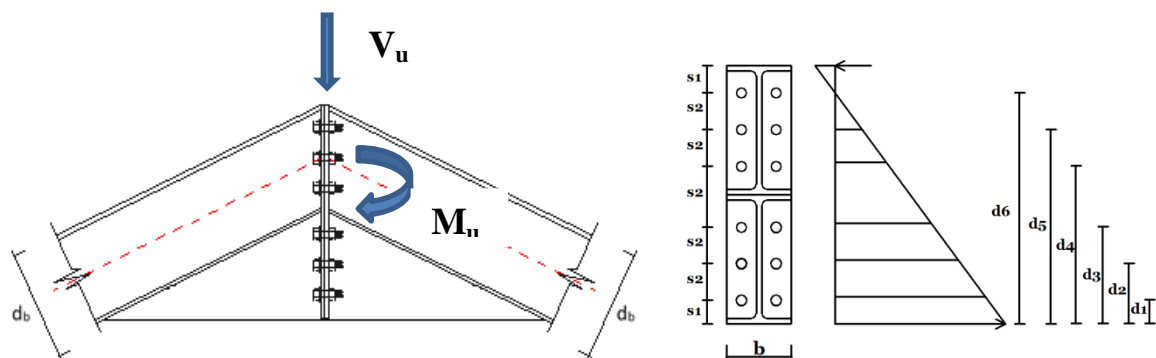
$$t_{wt} = \frac{M \cdot \sqrt{3}}{f_y \cdot d_{balok} \cdot d_{kolom}}$$

(2.5.3.1.13)

$$t_{wt} \leq t_w$$

(2.5.3.1.14)

2.5.2.2 Sambungan Puncak (Sambungan Balok-Kolom)



V_u = Gaya geser terfaktor

M_u = Momen lentur

S_1 = Jarak baut dan tepi

S_2 = Jarak antar baut

- Tahanan nominal baut terhadap tarik

$$\phi_f \cdot T_n = \phi_f \cdot (0,75 \cdot f_b^u \cdot) A_b$$

(2.5.3.2.1)

Dimana :

ϕ_f : 0,75 adalah factor reduksi kekuatan untuk fraktur

f_b^u : tegangan Tarik putus baut

A_b : luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

- Tahanan nominal baut terhadap geser

$$\phi_f \cdot V_n = \phi_f \cdot r_l \cdot f_b^u \cdot A_b$$

(2.5.3.2.2)

Dimana :

r_l : 0,5 untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

r_l : 0,4 untuk baut dengan ulir pada bidang geser

- Tahanan nominal baut terhadap tumpu

$$\phi_f \cdot R_n = 2,4 \cdot \phi_f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

(2.5.3.2.3)

Dimana

d_b : diameter baut nominal pada daerah tak berulir

t_p : 0,9 cm tebal pelat pada kolom

f_u : Tegangan tarik pelat

- Jumlah baut yang dibutuhkan

$$n = \frac{Vu}{\phi \cdot R_n}$$

(2.5.3.2.4)

Dimana :

n : Jumlah baut

R_n : Tahanan nominal baut terhadap geser

V_U : Beban terfaktor

- Kuat nominal baut terhadap geser dan Tarik

$$f_{uv} = \frac{V_u}{n \cdot A_b} \leq r_l \cdot \phi_f \cdot f_b^u \cdot m$$

(2.5.3.2.5)

Dimana :

m : jumlah bidang geser

- Kontrol Momen

$$\phi \cdot M_n = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot a^2 \cdot b}{2} + \sum_{i=1}^n T \cdot d_i$$

(2.5.3.2.6)

$$a = \frac{0,75 \cdot f_u^b \cdot n_b \cdot n \cdot A_b}{f_y \cdot b}$$

(2.5.3.2.7)

$$\sum_{i=1}^n T \cdot d_i = 0,75 \cdot f_u^b \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot A_b \cdot (d_i \text{terjauh})$$

(2.5.3.2.8)

Dimana :

n_1 : Jumlah kolom baut

n_2 : Jumlah baris baut

A_b : Luas penampang baut

b : Lebar balok

a : Tinggi penampang tekan

f_u^b : Kuat tarik nominal baut

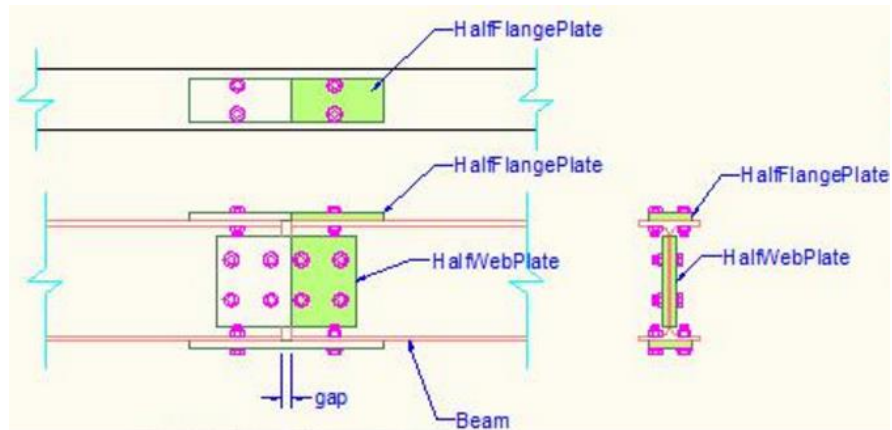
f_y : Tegangan leleh plat

d_i : Jarak terjauh baut

$$\phi \cdot M_n \geq M_u$$

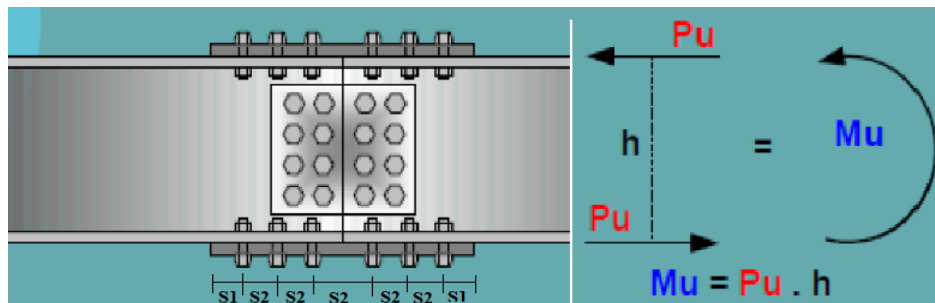
(2.5.3.2.9)

2.5.5.3 Sambungan Lewatan / Splice Connection (Sambungan Balok-Balok)



(Gambar .Sambungan Lewatan)

(Sumber; <http://www.engissol.com/LibrariesDocumentation/EC3SteelConnectionDesignLibrary/html/1662bf93-f257-48da-90ac-2aa2c83014d6.htm>)



(Gambar .Sambungan Lewatan)

S1 = Jarak baut dan tepi

S2 = Jarak antar baut

- Tahanan nominal baut terhadap tarik

$$\phi_f \cdot T_n = \phi_f \cdot (0,75 \cdot f_b^u \cdot) A_b$$

(2.5.3.3.1)

Dimana :

ϕ_f : 0,75 adalah factor reduksi kekuatan untuk fraktur

f_b^u : tegangan Tarik putus baut

A_b : luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

- Tahanan nominal baut terhadap geser

$$\phi_f \cdot V_n = \phi_f \cdot r_l \cdot f_b^u \cdot A_b$$

(2.5.3.3.2)

Dimana :

r_l : 0,5 untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

r_l : 0,4 untuk baut dengan ulir pada bidang geser

- Tahanan nominal baut terhadap tumpu

$$\phi_f \cdot R_n = 2,4 \cdot \phi_f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

(2.5.3.3.3)

Dimana

d_b : diameter baut nominal pada daerah tak berulir

t_p : 0,9 cm tebal pelat pada kolom

f_u :Tegangan tarik pelat

- Jumlah baut yang dibutuhkan

$$n = \frac{Vu}{\phi \cdot R_n}$$

(2.5.3.3.4)

Dimana :

n : Jumlah baut

R_n : Tahanan nominal baut terhadap geser
 V_U : Beban terfaktor

- Kuat nominal baut terhadap geser dan Tarik

$$f_{uv} = \frac{V_u}{n \cdot A_b} \leq r_l \cdot \phi_f \cdot f_b^u \cdot m$$

(2.5.3.3.5)

Dimana :

m : jumlah bidang geser

- Kontrol Momen

$$\phi \cdot M_n = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot a^2 \cdot b}{2} + \sum_{i=1}^n T \cdot d_i$$

(2.5.3.3.6)

$$a = \frac{0,75 \cdot f_u^b \cdot n_b \cdot n \cdot A_b}{f_y \cdot b}$$

(2.5.3.3.7)

$$\sum_{i=1}^n T \cdot d_i = 0,75 \cdot f_u^b \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot A_b \cdot (d_i \text{ terjauh})$$

(2.5.3.3.8)

Dimana :

n_1 : Jumlah kolom baut
 n_2 : Jumlah baris baut
 A_b : Luas penampang baut
 b : Lebar balok
 a : Tinggi penampang tekan
 f_u^b : Kuat tarik nominal baut
 f_y : Tegangan leleh plat
 d_i : Jarak terjauh baut

$$\phi \cdot M_n \geq M_u$$

(2.5.3.3.9)

- Kontrol gaya geser

Gaya geser yang diterima 1 baut

$$V_{\text{baut}} = \frac{T}{n} \leq \phi R_n$$

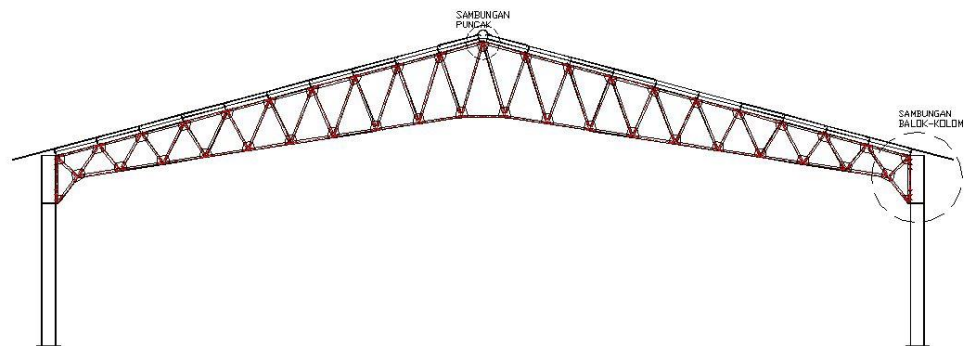
(2.5.3.3.10)

Gaya geser yang dipikul 1 baut

$$f_v = \frac{V_{\text{baut}}}{A_{\text{baut}}}$$

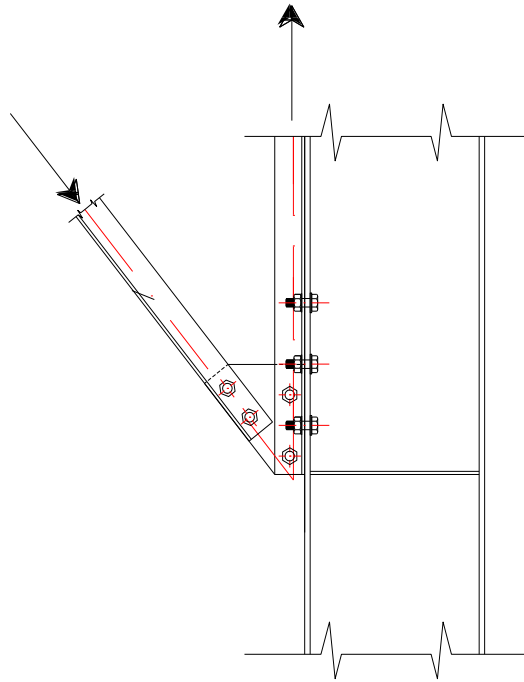
(2.5.3.3.11)

2.6 Sambungan pada Baja Siku



Gambar 9. Letak letak sambungan pada Hanggar

2.6.1 Sambungan Rafter Tepi



Gambar 10. Skema Penyambungan Balok-Kolom

Kuat nominal penyambung terhadap geser (*SNI 03-1729-2002 : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, hal 100*)

$$\phi_f \frac{V_n}{V_n} = \phi_f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

Dimana :

ϕ_f = Faktor reduksi untuk fraktur (0,75)

r_1 = Untuk baut dengan tegangan ulir pada bidang geser (0,4)

f_u^b = Tegangan tarik putus baut

A_b = Luas penampang baut

Kuat nominal penyambung terhadap tarik (*SNI 03-1729-2002 : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, hal 100*)

$$\phi_f T_n = \phi_f \cdot (0,75 \cdot f_u^b) \cdot A_b$$

Kuat nominal penyambung terhadap tumpu (*SNI 03-1729-2002 : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, hal 100*)

Tebal plat penyambung t_p

$$\phi_f R_n = 2,0 \cdot \phi_f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_y$$

Dimana :

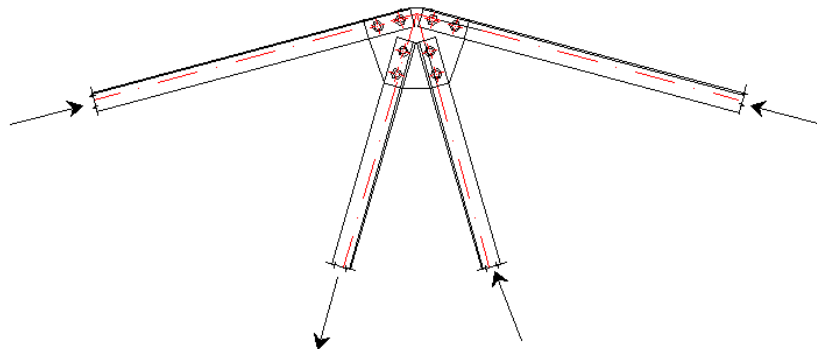
ϕ_f = Faktor reduksi untuk fraktur (0,75)

d_b = Diameter baut nominal pada daerah tak berulir

t_p = Tebal plat penyambung

f_y = Tegangan tarik pelat

2.6.2 Skema Sambungan Puncak



Gambar 11. Skema Penyambungan Puncak

Kuat nominal penyambung terhadap geser (*SNI 03-1729-2002 : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, hal 100*)

$$\phi_f V_n = \phi_f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

Dimana :

ϕ_f = Faktor reduksi untuk fraktur (0,75)

r_1 = Untuk baut dengan tegangan ulir pada bidang geser (0,4)

f_u^b = Tegangan tarik putus baut

A_b = Luas penampang baut

Kuat nominal penyambung terhadap tarik (*SNI 03-1729-2002 : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, hal 100*)

$$\phi_f T_n = \phi_f \cdot (0,75 \cdot f_u^b) \cdot A_b$$

Kuat nominal penyambung terhadap tumpu (*SNI 03-1729-2002 : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, hal 100*)

Tebal plat penyambung t_p

$$\phi_f R_n = 2,0 \cdot \phi_f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_y$$

Dimana :

ϕ_f = Faktor reduksi untuk fraktur (0,75)

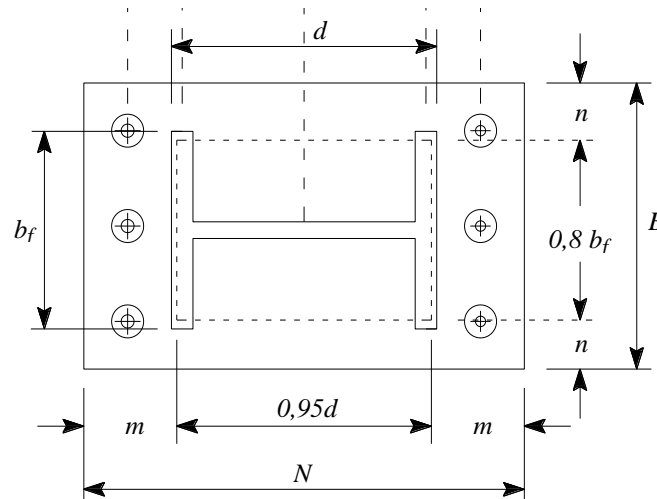
d_b = Diameter baut nominal pada daerah tak berulir

t_p = Tebal plat penyambung

f_y = Tegangan tarik pelat

2.7 Plat landasan (*Base plate*)

Dalam perencanaan suatu struktur baja , bagian penghubung antara kolom struktur dengan pondasi sering disebut dengan istilah Plat landasan(*base plate*). Pada umumnya suatu struktur base plate terdiri dari suatu plat dasar, angkur serta sirip-sirip pengaku (*stiffener*). Suatu sturuktur base plate dan angkur harus memiliki kemampuan untuk mentranfer gaya geser, gaya aksial dan momen lentur ke pondasi.



Gambar 2.6 Base Plate

Luas Bidang Base Plate

Desain luas plat dasar harus lebih besar dari luas baja yang ada.

$$P_u \leq \phi \cdot P_p \quad (2.8.1)$$

$$P_u \leq \phi \cdot (0,85 \cdot f'_c \cdot A) \quad (2.8.2)$$

Dimana :

P_p : Kekuatan penampang profil

P_u : Beban ultimate

f'_c : Kuat tekan beton

A : Luas penampang base plate

Dimensi Base Plate

$$\Delta = \frac{0,95 \cdot d - 0,80 \cdot b_f}{2} \quad (2.8.3)$$

$$N = \sqrt{A} + \Delta \quad (2.8.4)$$

$$B = \frac{A}{N} \quad (2.8.5)$$

Dimana :

Δ : Jarak antara ujung terluar baja dengan tepi base plate

N : Tinggi base plate

B : Lebar base plate

d : Tinggi profil baja

bf : Lebar profil baja

A : Luas penampang base plate

Tebal Base Plate

$$m = \frac{(N - 0,95.d)}{2} \quad (2.8.6)$$

$$n = \frac{(B - 0,8.bf)}{2} \quad (2.8.7)$$

Maka :

$$tp = (m \text{ atau } n) \sqrt{\frac{2.Pu}{0,9.fy.B.N}} \quad (2.8.8)$$

Dimana :

tp : Tebal base plate

B : Lebar base plate

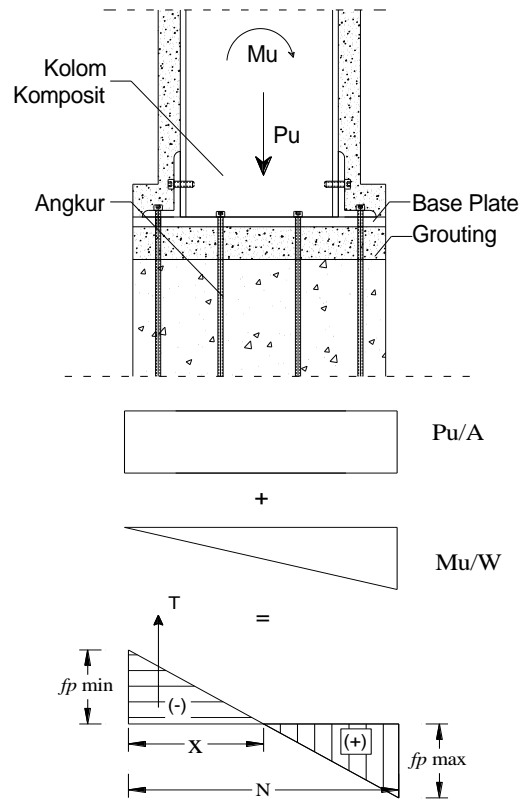
N : Tinggi base plate

fy : Tegangan leleh baja

bf : Lebar profil baja

Perhitungan Angkur

$$f_p = \frac{P_u}{A} \pm \frac{M_u}{W} \quad (2.8.9)$$



Gambar 2.7 Sambungan dan Gaya yang terjadi pada base plate

- Gaya angkur yang terjadi

$$T = 0,5 (f_p \cdot B) \quad (2.8.10)$$

Dimana :

- T : Gaya yang terjadi
- x : Jarak dimana $f = 0$
- N : Tinggi base plate
- W : $1/6 \cdot B \cdot N^2$
- Mu : Momen Ultimate
- Pu : Beban ultimate
- A : Luas penampang base plate
- f_p : Tegangan Tekan

- Luas penampang baut angkur yang diperlukan

$$A = \frac{T}{\phi \cdot 0,75 \cdot f_y} \quad (2.8.11)$$

$$n = \frac{A}{A_{angkur}} \quad (2.8.12)$$

Dimana :

A : Luas penampang perlu angkur

A_{angkur} : Luas penampang angkur

T : Gaya yang terjadi pada angkur

Ø : Faktor reduksi (0,75)

f_y : Tegangan leleh baja

BAB III

METODELOGI

3.1 Pengumpulan Data

Data–data yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini secara garis besar dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder.

3.1.1 Data Primer

Merupakan data yang meliputi hasil tinjauan dan pengamatan langsung dilapangan berupa letak, luas area, rangkain yang terkait strukturtural bangunan.

3.1.2 Data Sekunder

Merupakan data pendukung yang dipakai dalam studi analisis dalam penyusunan tuhgas akhir baik dari lapangan maupun dari literatur yang ada serta peraturan–peraturan yang terkait dalam studi analisis ini.

Data–data tersebut meliputi :

1. Data dimensi profil baja yang digunakan dilapangan..
2. Jenis atau model sambungan yang ada dilapangan.
3. Peraturan–peraturan yang digunakan.
4. Data teknis :
 - Bentang Struktur kuda–kuda : 60 meter
 - Jarak antar kuda–kuda : 6,00 meter

- Kemiringan kuda-kuda : 15,0 °
- Jenis Atap : Seng gelombang
- Jenis Baja Profil : WF

4. Data non teknis :

- Metode analisa yang digunakan.

3.2 Metodologi Yang Digunakan

Langkah yang digunakan setelah mengetahui data yang diperlukan adalah menentukan metode pengumpulan data. Adapun metode yang digunakan adalah observasi dan studi pustaka.

3.2.1 Observasi

Observasi merupakan metode pengumpulan data dengan cara peninjauan dan pengamatan langsung dilapangan.

3.2.2 Studi Pustaka

Studi pustaka merupakan metode pengumpulan data dengan cara mencari referensi literatur, peraturan-peraturan terkait perencanaan dan standar yang digunakan.

3.3 Analisis/Pengolaan Data

Analisis dan pengolahan data dilakukan berdasarkan data yang dibutuhkan, sebagai acuan perbandingan dalam perhitungan struktur. Adapun analisis yang

digunakan adalah membahas perencanaan struktur rangka menggunakan profil baja siku sebagai alternatif struktur gable frame menggunakan profil baja WF.

3.4 Perhitungan Struktur

Perancangan detail struktur Gable Frame dilakukan dengan membuat draft gambar rencana, menghitung konstruksi baja, merencanakan balok WF dan Castella.

Adapun Perhitungan struktur Meliputi :

1. Pembebanan pada struktur *Gable Frame*.
2. Analisa struktur *Gable Frame* dengan menggunakan program *STAAD 2004* .
3. Perencanaan dimensi profil baja WF dan Profil siku.
4. Perencanaan sambungan (*Connections*).
5. Perencanaan plat dasar (*base plate*)
6. Analisa Harga

3.5 Gambar Perencanaan

Gambar perencanaan merupakan visualisasi dari analisa dan perancangan struktur Gable Frame. Tujuan dari gambar perencanaan adalah :

1. Sebagai pedoman dalam pelaksanaan dilapangan.
2. Mempermudah dalam pengawasan dalam pengawasan pada waktu pelaksanaan.

Dalam gambar perencanaan dibuat dengan benar dan selengkap mungkin, sehingga mempermudah dalam pembacaan. Ada pun beberapa yang dituangkan dalam gambar dalam studi analisis tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

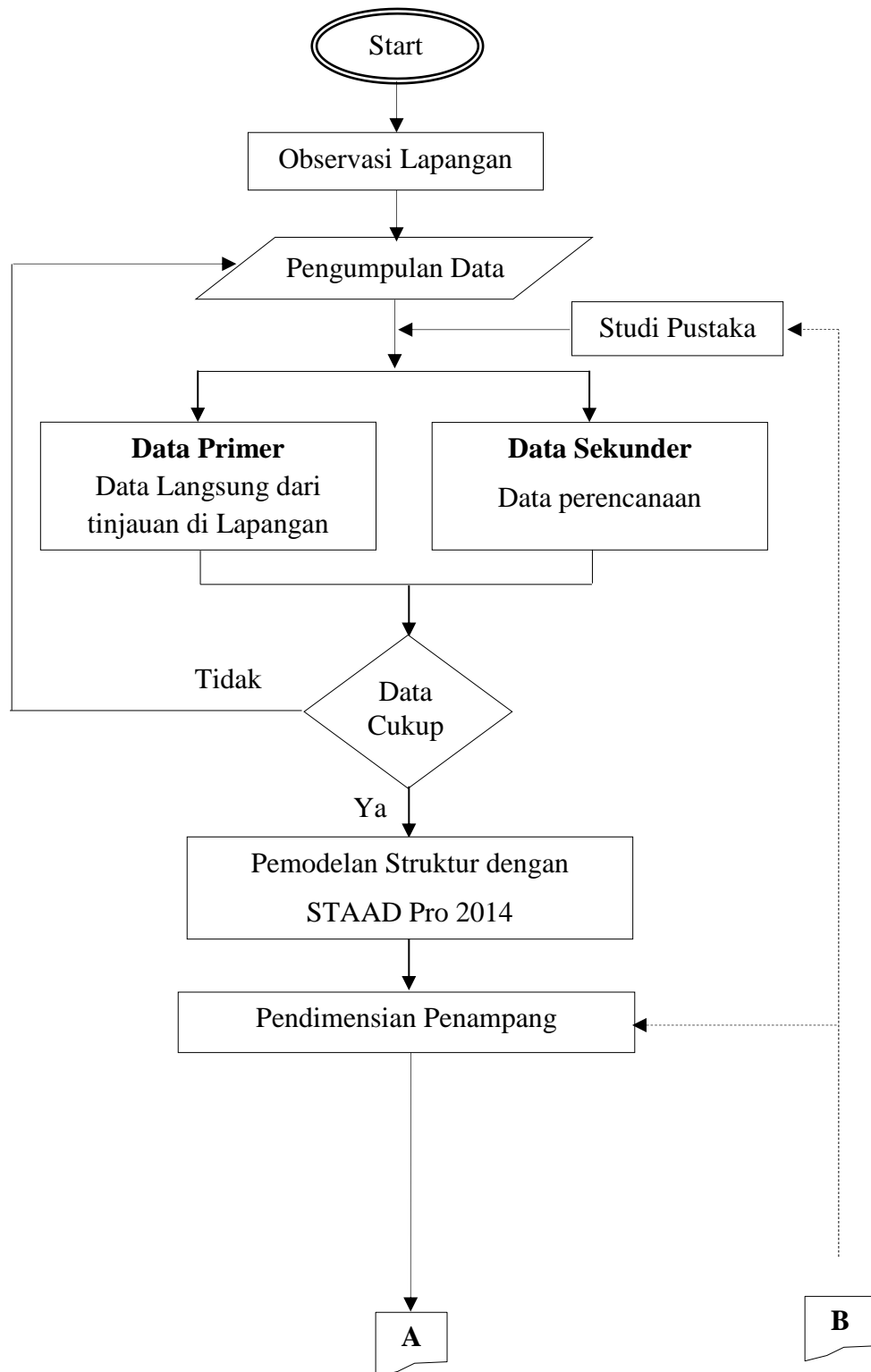
1. Gambar Portal Gable Frame.
2. Gambar Potongan.
3. Gambar Detail, (Sambungan, base plate)

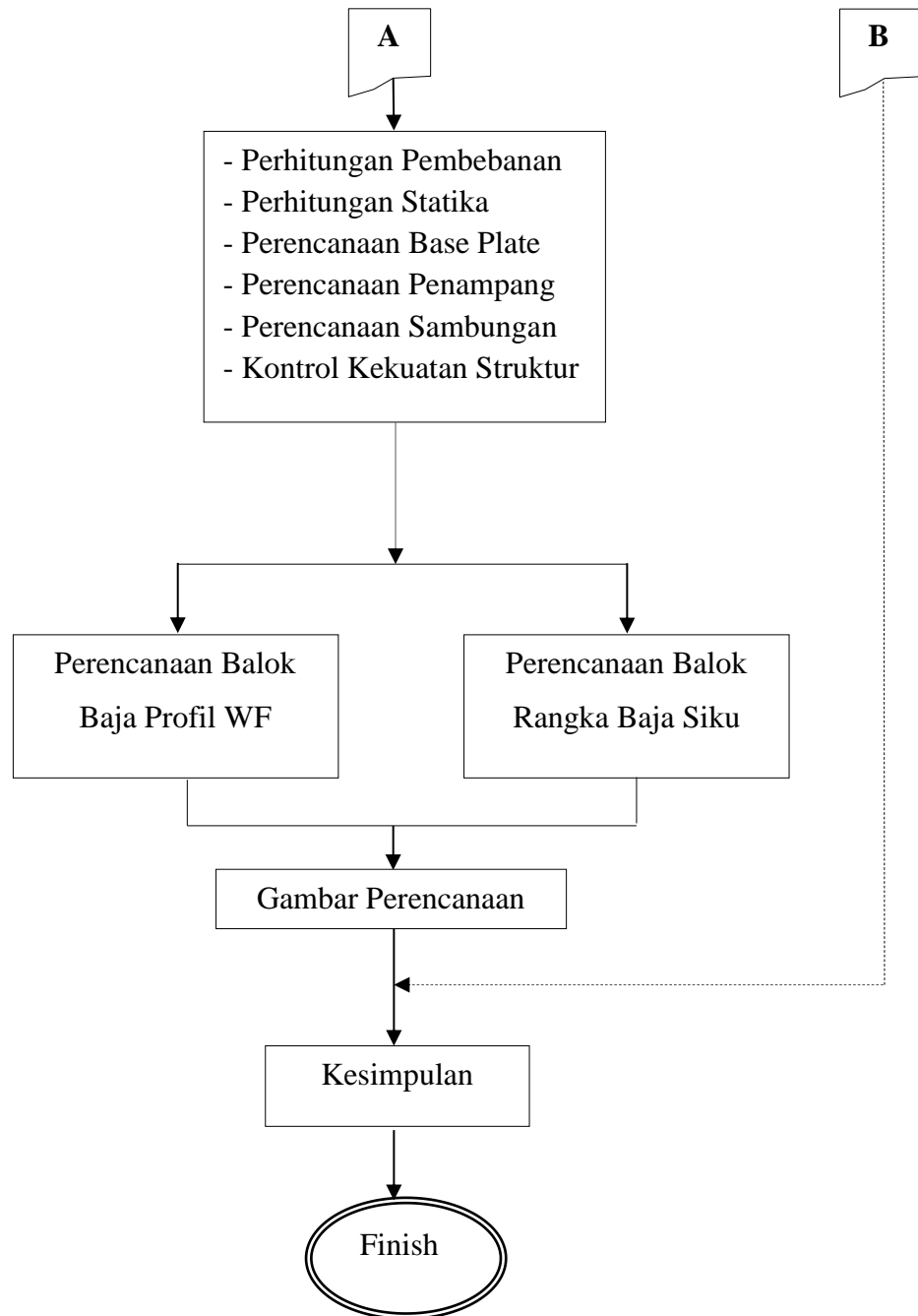
3.6 Kesimpulan

Setelah semua proses telah selesai maka didapat kesimpulan dari Studi Analisis Perbandingan Antara Gable Frame Menggunakan Profil Baja WF dengan Struktur rangka menggunakan Profil Baja Siku pada Hanggar Pesawat Tempur Hercules di Pangkalan Militer TNI AU Abdurrahman Saleh Malang

3.7 Diagram Alir Analisis

Diagram alir analisa perencanaan:





BAB IV

PERHITUNGAN STRUKTUR GABLE FRAME

(Load and Resistance Factor Design)

4.1 Data Perencanaan

Bentang Kuda – Kuda	: 60.00 meter
Jenis Atap	: Spandek Doff (Solid Colour)
Berat Atap	: 0.0444 kN/m ²
Jarak antara kuda – kuda	: 8.572 m
Jarak antara medan	: 5 medan
Profil Kolom direncanakan	: WF 700.600.18.36
Profil Balok direncanakan	: WF 700.600.18.36
Profil Gording direncanakan	: C 150.65.20.3.2
Tinggi Kolom	: 15.00 m
Kemiringan atap	: 10,5°
Jenis Bangunan	: Hanggar Pesawat
Mutu Baja BJ 50	: $f_u = 500 \text{ MPa}$ $f_y = 290 \text{ MPa}$

4.2 Pembebanan Metode Load and Resistance Factor Design (LRFD)

4.2.1 Beban Mati (D)

Beban gording tepi C 150.65.20.3.2 = 0.0450 kN/m

Beban atap : berat gording x luas bidang atap

$$: 0.0450 \times 1.75 \times 1.00 = 0.07875 \text{ kN/m}$$

Berat gording : $0.0450 \times 1.00 = 0.0450 \text{ kN/m} +$

$$D = 0.12375 \text{ kN/m}$$

Beban alat Penyambung 10%D = 0.012375 kN/m +

Total beban mati $D_{\text{total}} = 0.13613 \text{ kN/m}$

- Penguraian Beban

Beban Mati (D)

$$D_x = D_{\text{total}} \times \cos \alpha$$

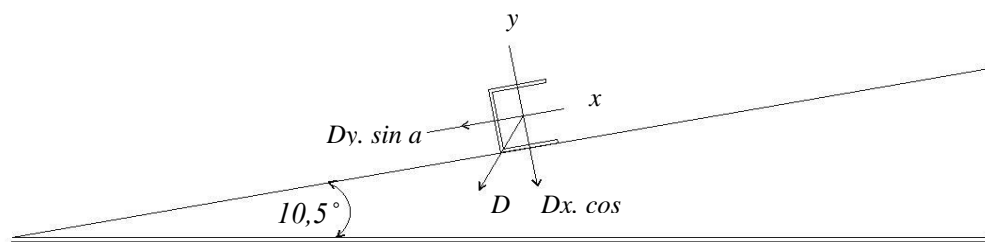
$$D_y = D_{\text{total}} \times \sin \alpha$$

$$= 0.13613 \times \cos 10.5^\circ$$

$$= 0.13613 \times \sin 10.5^\circ$$

$$= 0.13385 \text{ kN/m}$$

$$= 0.02481 \text{ kN/m}$$



Gambar 4.1 Skema pembebanan pada gording akibat beban mati

4.2.2 Beban Hidup Atap (L_r)

Menurut SNI 1727 – 2013 tabel 4 – 1 pendistribusian beban hal 27 untuk atap berbubung beban hidup atap (L_o) sebesar : 0.89 kN

$$L_r = L_o \times R_1 \times R_2 \quad \text{dimana } 0.58 \leq L_r \leq 0.89$$

- Faktor reduksi R_1 dan R_2 harus ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Luas Tributari (AT)} = 8.572 \times 1.75 = 15.001 \text{ m}^2$$

$$= 1 \quad \text{untuk } AT \leq 18.58 \text{ m}^2$$

$$R_1 = 1.2 - 0.001 AT \quad \text{untuk } 18.58 \text{ m}^2 \leq AT \leq 55.74 \text{ m}^2$$

$$= 0.6 \quad \text{untuk } AT \geq 55.74 \text{ m}^2$$

- Jumlah peninggian (F)

$$F = 0.12 \times \alpha$$

$$= 0.12 \times 10.5^\circ = 1.260$$

$$= 1 \quad \text{untuk } F \leq 4$$

$$R_2 = 1.2 - 0.05 F \quad \text{untuk } 4 \leq F \leq 12$$

$$= 0.6 \quad \text{untuk } F \geq 12$$

$$L_r = L_o \cdot R_1 \cdot R_2 \quad \text{dimana } 0.58 \leq L_r \leq 0.96$$

$$= 0.89 \cdot 1 \cdot 1$$

$$= 0.89 \text{ kN}$$

- Penguraian Beban

Beban Hidup (L_r)

$$L_{rx} = L_r \times \cos \alpha$$

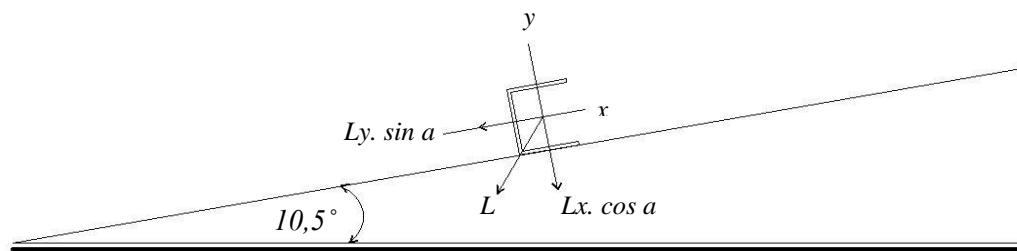
$$= 0.89 \times \cos 10.5^\circ$$

$$= 0.8751 \text{ kN}$$

$$L_{ry} = L_r \times \sin \alpha$$

$$= 0.89 \times \sin 10.5^\circ$$

$$= 0.1633 \text{ kN}$$



Gambar 4.2 Skema pembebanan pada gording akibat beban hidup

4.2.3 Beban Angin (W)

Menurut SNI 1727 – 2013 hal 64, untuk menentukan beban angina SPBAU (sistem penahan beban angin utama) harus memenuhi langkah – langkah sebagai berikut :

Langkah 1 : Menentukan kategori resiko bangunan gedung atau struktur lain

Kategori resiko 3 : Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan resiko besar bagi kehidupan manusia.

Langkah 2 : Tentukan kecepatan angin dasar V, untuk kategori resiko yang sesuai diambil V, sebesar ;

$$40 \text{ km/jam} = 11.11 \text{ m/s}$$

Langkah 3 : Tentukan parameter beban angina :

1. Faktor arah angin , K_d

Tabel 26.6-1 - Faktor Arah Angin, K_d

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d^*
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

* Faktor arah K_d telah dikalibrasi dengan kombinasi beban yang ditetapkan dalam Pasal 2. Faktor ini hanya diterapkan bila digunakan sesuai dengan kombinasi beban yang disyaratkan dalam Pasal 2.3 dan Pasal 2.4.

- Sistem penahan beban angin bangunan gedung : 0.85 (SNI 1727-2013)

2. Kategori eksposur

26.7.3 Kategori Eksposur

Eksposur B: Untuk bangunan gedung dengan tinggi rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bila kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku di arah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500 ft (457 m). Untuk bangunan dengan tinggi rata-rata lebih besar dari 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bila kekasaran permukaan B berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.

- Eksposur B : daerah perkotaan dan pinggiran kota (SNI 1727-2013)

3. Faktor topografi, K_z

26.8.2 Faktor Topografi

Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_z :

$$K_z = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (26.8-1)$$

di mana K_1 , K_2 , dan K_3 diberikan dalam Gambar 26.8-1.

Jika kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam Pasal 26.8.1, $K_z = 1,0$.

- Diambil $K_z = 1.0$ (SNI 1727-2013, hal 54)

4. Tentukan Faktor efek tiupan angin (G)

- Diambil : 0.85 (SNI 1727-2013, hal 51)

5. Klarifikasi ketertutupan

Klasifikasi Ketertutupan	(GC _{pi})
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

- Merupakan, jenis bangunan gedung tertutup maka koefisien tekanan internal diambil :

$$GC_{pi} = 0.18 \quad (\text{SNI 1727-2013, hal 61})$$

Langkah 4 : Tentukan eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h

Tinggi rata-rata (h) : 20.56

Tinggi elevasi (z) : 15.5

Koefisien eksposur Tekanan Velositas untuk angin pergi :

Tinggi (z)	Velositas (K _z)
Z1 : 12.2	: 0.76
Z2 : 15.5	: 0.81

$$K_z = 0.76 + \frac{15 - 12.2}{15.5 - 12.2} \times 0.81 - 0.76 = 1.27$$

Tinggi (z)	Velositas (K _z)
Z1 : 18	: 0.85
Z2 : 21.3	: 0.89

$$K_z = 0.85 + \frac{20.56 - 18}{21.3 - 18} \times 0.89 - 0.85 = 0.9$$

Langkah 5 : Tentukan tekanan velositas, q atau qh

Tekanan Angin tekan pada atap

$$\begin{aligned} qh &= 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \\ &= 0.613 \times 1.27 \times 1 \times 0.85 \times 11.11^2 \\ &= 81.466 \text{ N/m}^2 \\ &= 0.081466 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Tekanan Angin hisap pada atap

$$\begin{aligned} qh &= 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \\ &= 0.613 \times 0.9 \times 1 \times 0.85 \times 11.11^2 \\ &= 57 \text{ N/m}^2 \\ &= 0.057 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Langkah 6 : Tentukan koefisien tekan external,

Merujuk pada SNI 1721:2013, gambar 27.4-1 (lanjutan), halaman 68 untuk arah angin yang tegak lurus terhadap bubungan dengan sudut kemiringan atap $\geq 10^\circ$ dan nilai dari tinggi atap dibagi dimensi horizontal bangunan (h/L) ≤ 0.5 maka koefisien tekanan atap (C_p) diisi angina datang pergi didapat dengan interpolasi. Karna sudut portal sebesar 10.5° maka ;

Sudut	Tegak Lurus terhadap bubungan untuk $\geq 10^\circ$	
	Angin Datang	Angin Pergi
10	-0.9	-0.5
15	-0.7	-0.5

Koefisien tekanan atap disisi angin tekan

$$= -0.9 + \frac{10.5 - 10}{15 - 10} \times -1 - (-0.9) = -0.88$$

Koefisien tekanan atap disisi angina hisap = -0.5

Langkah 7 : Menghitung tekanan angin, P pada atap :

- **Tekanan angin tekan pada atap**

$$\begin{aligned} P_{\text{tekan}} &= qh \times G \times C_p - qh \times C_{pi} \\ &= 81.466 \times 0.85 \times 0.88 - 81.466 \times 0.18 \end{aligned}$$

$$= 46.2727 \text{ N/m}^2$$

$$= 0.0462727 \text{ kN/m}^2$$

- **Tekanan angin hisap pada atap :**

$$P_{\text{hisap}} = q_h \times G \times C_p - q_h \times C_{pi}$$

$$= 57 \times 0.85 \times 0.5 - 57 \times 0.18$$

$$= 13.965 \text{ N/m}^2$$

$$= 0.013965 \text{ kN/m}^2$$

- **Beban angin pada gording :**

$$W_{\text{tekan}} = P \times \text{jarak antara gording} \times \text{luas bidang atap}$$

$$= 0.0462727 \times 1.75 \times 1$$

$$= 0.08098 \text{ kN/m}$$

$$W_{\text{hisap}} = P \times \text{jarak antara gording} \times \text{luas bidang atap}$$

$$= 0.013965 \times 1.75 \times 1$$

$$= 0.02444 \text{ kN/m}$$

Angin Tekan

$$W_x = W_{\text{tekan}} \times \cos \alpha$$

$$= 0.07962 \text{ kN/m}$$

$$W_y = W_{\text{tekan}} \times \sin \alpha$$

$$= 0.01406 \text{ kN/m}$$

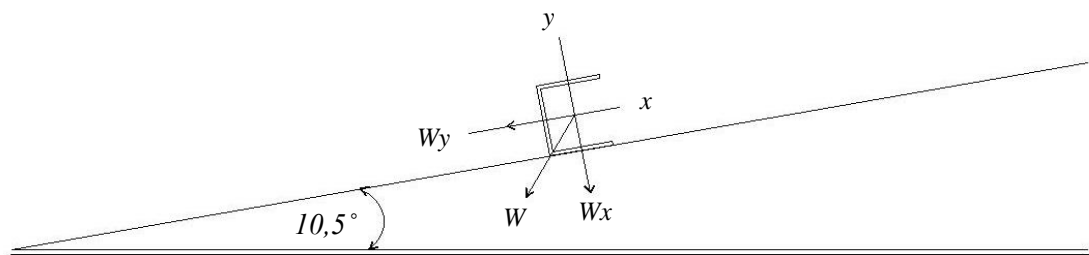
Angin hisap

$$W_x = W_{\text{hisap}} \times \cos \alpha$$

$$= 0.02403 \text{ kN/m}$$

$$W_y = W_{\text{hisap}} \times \sin \alpha$$

$$= 0.00445 \text{ kN/m}$$



Gambar 4.24 Skema pembebanan pada gording untuk beban angina

4.8.1 Beban Hujan (R)

Menurut SNI 1727 – 2013 hal 38, perencanaan beban hujan rencana sebagai berikut : $d_s = 5 \text{ mm}$

$$d_h = 5 \text{ mm}$$

$$R = 0.0098 \times (d_s + d_h)$$

$$= 0.0098 \times (10)$$

$$= 0.098 \text{ kN/m}^2$$

- Beban hujan pada gording

$$R = 0.098 \times \text{jarak gording} \times \text{luas bidang atap}$$

$$= 0.147 \times 1.75 \times 1$$

$$= 0.1715 \text{ kN/m}$$

$$R_x = R \times \cos \alpha$$

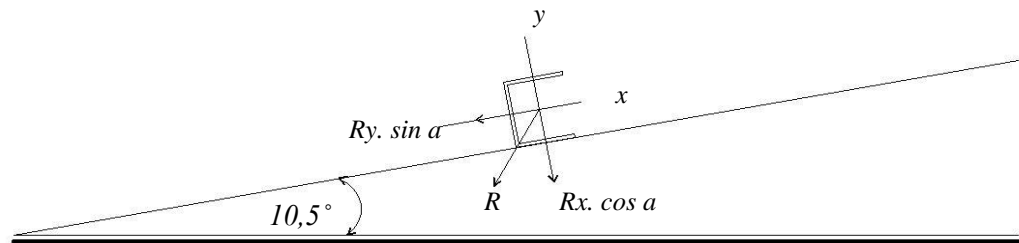
$$= 0.1715 \times \cos 10.5^\circ$$

$$= 0.16863 \text{ kN/m}$$

$$R_y = R \times \sin \alpha$$

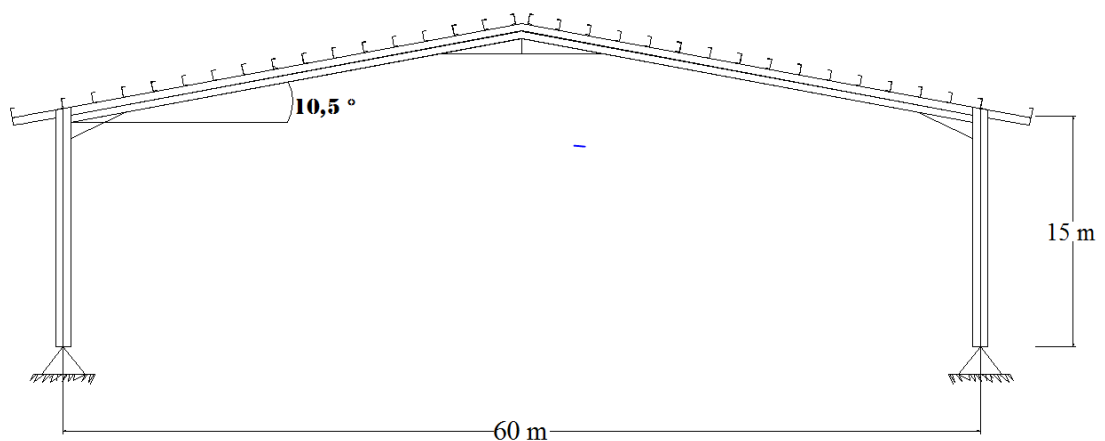
$$= 0.1715 \times \sin 10.5^\circ$$

$$= 0.03125 \text{ kN/m}$$



Gambar 4.4 Skema pembebanan pada gording akibat beban hujan

4.3 Pembebanan pada kuda – kuda



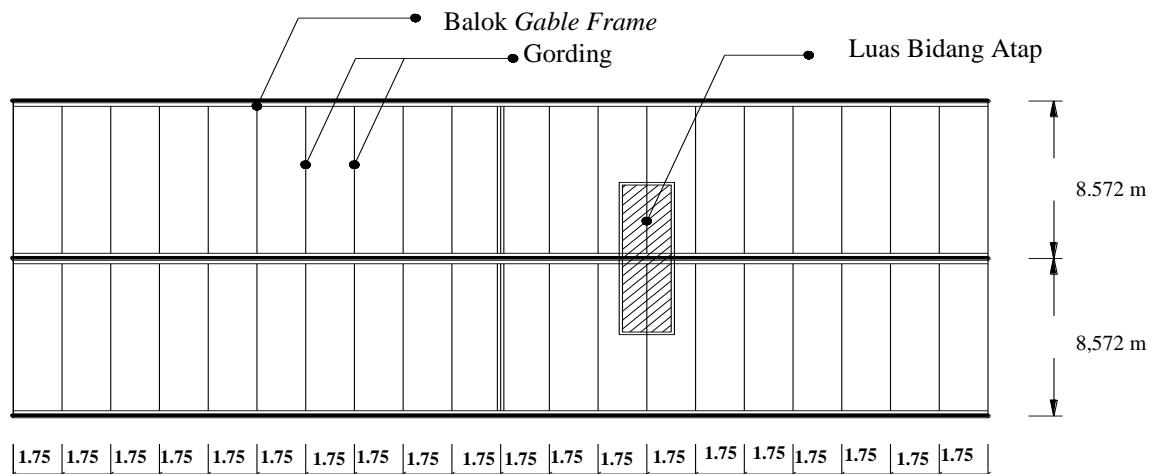
Gambar 4.5 Struktur Portal Gable Frame

- Panjang balok kuda – kuda :

$$\text{Panjang balok} = \frac{60/2}{\cos 10.5^\circ} = \frac{60}{\cos 10.5^\circ} = 30.501 \text{ m}$$

Jarak antara gording :

$$I = \frac{30.5011}{17} = 1.75 \text{ m}$$



Gambar 4.1 Denah atap kuda – kuda

4.3.1 Beban Mati (D)

- **Beban gording ujung overstek (D4)**

Beban atap : berat penutup atap x luas bidang atap

$$: 0.0444 \times (\frac{1}{2} \times 1.5) \times 8.572 = 0.28545 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} : 0.0450 \times 8.572 = 0.38574 \text{ kN} +$$

$$D = 0.67119 \text{ kN}$$

$$\text{Beban alat penyambung 10\% D} = 0.06712 \text{ kN} +$$

$$\text{Total beban mati} \quad \quad \quad \mathbf{D4} = \mathbf{0.73831 \text{ kN}}$$

- **Beban gording Tepi (D3)**

Beban atap : berat penutup atap x luas bidang atap

$$: 0.0444 \times (\frac{1}{2} \times 1.75) \times 8.572 = 0.33302 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} : 0.0450 \times 8.572 = 0.38574 \text{ kN}$$

$$D = 0.71876 \text{ kN}$$

$$\text{Beban alat penyambung 10\% D} = 0.07187 \text{ kN} +$$

Total beban mati **D3** = **0.79064 kN**

- Beban gording tengah (D2)**

Beban atap : berat penutup atap x luas bidang atap

$$: 0.0444 \times 1,75 \times 8.572 = 0.66604 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} : 0.0450 \times 8.572 = 0.38574 \text{ kN} +$$

$$D = 1.05178 \text{ kN}$$

$$\text{Beban alat penyambung } 10\% D = 0.10518 \text{ kN}$$

$$\text{Total beban mati} \quad \quad \quad \mathbf{D2} \quad \quad \quad = \mathbf{1.15696 \text{ kN}}$$

- Beban gording puncak (D1)**

Beban atap : berat penutup atap x luas bidang atap

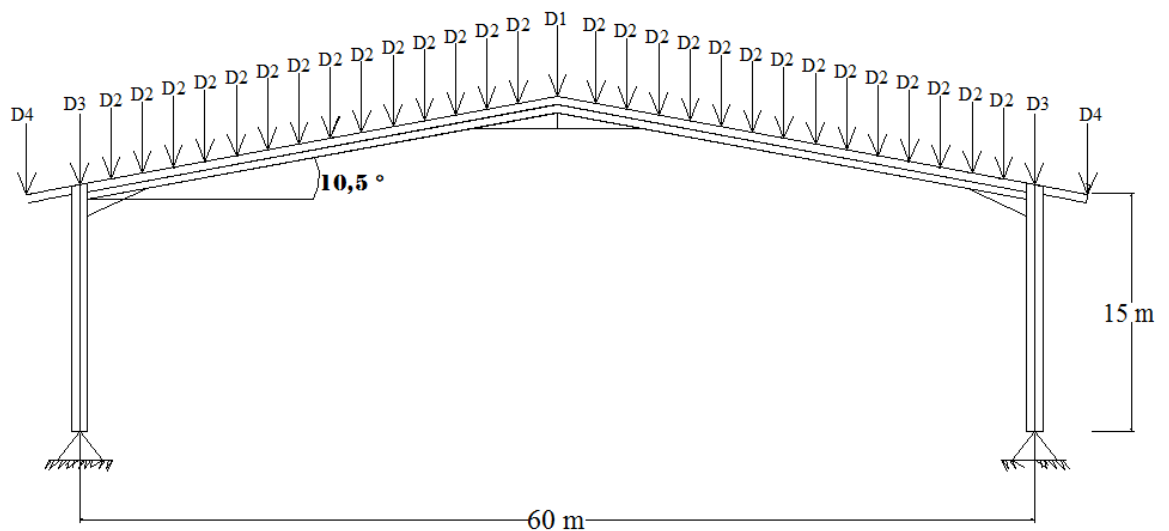
$$: 0.0444 \times \left(\frac{1}{2} \times 1,75 \right) \times 8.572 = 0.33302 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} : 0.0450 \times 8.572 = 0.38574 \text{ kN} +$$

$$D = 0.71876 \text{ kN}$$

$$\text{Beban alat penyambung } 10\% D = 0.07187 \text{ kN} +$$

$$\text{Total beban mati} \quad \quad \quad \mathbf{D1} \quad \quad \quad = \mathbf{0.79064 \text{ kN}}$$



Gambar 4.6 Skema pembebanan untuk beban mati

4.3.2 Beban Hidup Atap (L_r) :

Menurut SNI 1727 – 2013 tabel 4-1 pendistribusian beban hal 27 untuk atap terhubung beban hidup atap (L_o) sebesar : 0.89 kN/m^2

$$L_r = L_o \times R_1 \times R_2 \quad \text{dimana } 0.58 \leq L_r \leq 0.89$$

Factor reduksi R_1 dan R_2 harus ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Luas Tributari (AT)} = 8.572 \times 1.75 = 15.001 \text{ m}^2$$

$$= 1 \quad \text{untuk } AT \leq 18.58 \text{ m}^2$$

$$R_1 = 1.2 - 0.001 AT \quad \text{untuk } 18.58 \text{ m}^2 \leq AT \leq 55.74 \text{ m}^2$$

$$= 0.6 \quad \text{untuk } AT \geq 55.74 \text{ m}^2$$

Jumlah peninggian (F)

$$F = 0.12 \times \alpha = 0.12 \times 10.5^\circ = 1.260$$

$$= 1 \quad \text{untuk } F \leq 4$$

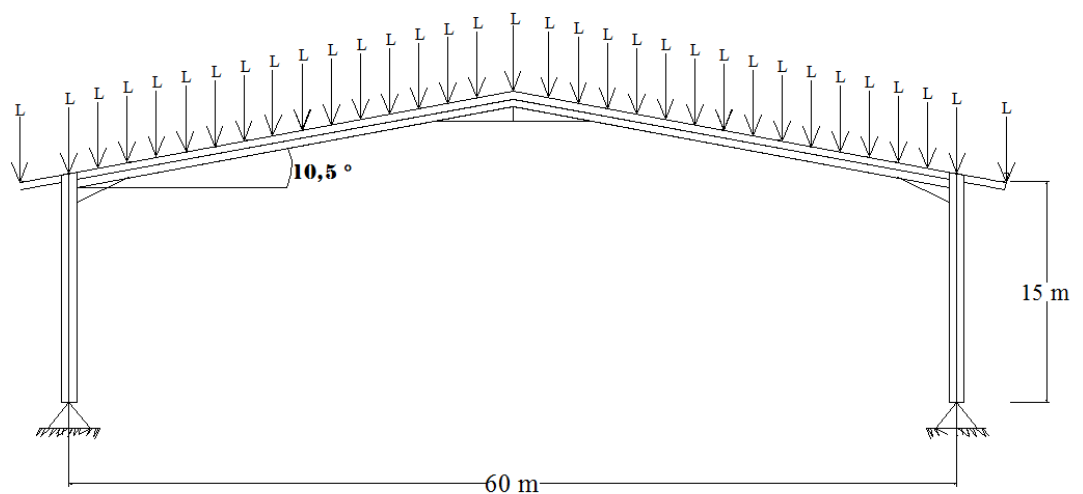
$$R_2 = 1.2 - 0.05 F \quad \text{untuk } 4 \leq F \leq 12$$

$$= 0.6 \quad \text{untuk } F \geq 12$$

$$L_r = L_o \times R_1 \times R_2 \quad \text{dimana } 0.58 \leq L_r \leq 0.89$$

$$= 0.89 \times 1 \times 1$$

$$= 0.89 \text{ kN}$$



Gambar 4.7 Skema pembebanan untuk beban hidup

4.3.3 Beban Angin (W)

Menurut SNI 1727 – 2013 hal 64, untuk menentukan beban angin SPBAU (sistem penahan beban angin utama) harus memenuhi langkah – langkah sebagai berikut :

Langkah 1 : Menentukan kategori resiko bangunan gedung atau struktur lain

Kategori resiko 3 : Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan resiko besar bagi kehidupan manusia.

Langkah 2 : Tentukan kecepatan angin dasar V, untuk kategori resiko yang sesuai diambil V, sebesar ;

$$40 \text{ km/jam} = 11.11 \text{ m/s}$$

Langkah 3 : Tentukan parameter beban angin :

6. Faktor arah angin , K_d

Tabel 26.6-1 - Faktor Arah Angin, K_d

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d^*
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

* Faktor arah K_d telah dikalibrasi dengan kombinasi beban yang ditetapkan dalam Pasal 2. Faktor ini hanya diterapkan bila digunakan sesuai dengan kombinasi beban yang disyaratkan dalam Pasal 2.3 dan Pasal 2.4.

- Sistem penahan beban angin bangunan gedung : 0.85 (SNI 1727-2013)

7. Kategori eksposur

26.7.3 Kategori Eksposur

Eksposur B: Untuk bangunan gedung dengan tinggi rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bila mana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku di arah hawa angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500 ft (457 m). Untuk bangunan dengan tinggi rata-rata lebih besar dari 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bila mana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah hawa angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.

- Eksposur B : daerah perkotaan dan pinggiran kota (SNI 1727-2013)

8. Faktor topografi, K_z

26.8.2 Faktor Topografi

Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_z :

$$K_z = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (26.8-1)$$

di mana K_1 , K_2 , dan K_3 diberikan dalam Gambar 26.8-1.

Jika kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam Pasal 26.8.1, $K_z = 1,0$.

- Diambil $K_z = 1,0$ (SNI 1727-2013, hal 54)

9. Tentukan Faktor efek tiupan angin (G)

- Diambil : 0,85 (SNI 1727-2013, hal 51)

10. Klarifikasi ketertutupan

Klasifikasi Ketertutupan	($G C_{pi}$)
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

- Merupakan, jenis bangunan gedung tertutup maka koefisien tekanan internal diambil :

$$GC_{pi} = 0.18 \quad (\text{SNI 1727-2013, hal 61})$$

Langkah 4 : Tentukan eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h

Tinggi rata-rata (h) : 20.56

Tinggi elevasi (z) : 15.5

Koefisien eksposur Tekanan Velositas untuk angin pergi :

Tinggi (z)	Velositas (K_z)
Z1 : 12.2	: 0.76
Z2 : 15.5	: 0.81

$$K_z = 0.76 + \frac{15 - 12.2}{15.5 - 12.2} \times 0.81 - 0.76 = 1.27$$

Tinggi (z)	Velositas (K_z)
Z1 : 18	: 0.85
Z2 : 21.3	: 0.89

$$K_z = 0.85 + \frac{20.56 - 18}{21.3 - 18} \times 0.89 - 0.85 = 0.9$$

Langkah 5 : Tentukan tekanan velositas, q atau q_h

Tekanan Angin tekan pada atap

$$\begin{aligned}
 q_h &= 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \\
 &= 0.613 \times 1.27 \times 1 \times 0.85 \times 11.11^2 \\
 &= 81.466 \text{ N/m}^2 \\
 &= 0.081466 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Tekanan Angin hisap pada atap

$$\begin{aligned}
 q_h &= 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \\
 &= 0.613 \times 0.9 \times 1 \times 0.85 \times 11.11^2
 \end{aligned}$$

$$= 57 \text{ N/m}^2$$

$$= 0.057 \text{ kN/m}^2$$

Langkah 6 : Tentukan koefisien tekan external,

Merujuk pada SNI 1721:2013, gambar 27.4-1 (lanjutan), halaman 68 untuk arah angin yang tegak lurus terhadap bubungan dengan sudut kemiringan atap $\geq 10^\circ$ dan nilai dari tinggi atap dibagi dimensi horizontal bangunan $(h/L) \leq 0,5$ maka koefisien tekanan atap (C_p) diisi angin datang pergi didapat dengan interpolasi. Karna sudut portal sebesar $10,5^\circ$ maka ;

Sudut	Tegak Lurus terhadap bubungan untuk $\geq 10^\circ$	
	Angin Datang	Angin Pergi
10	-0.9	-0.5
15	-0.7	-0.5

Koefisien tekanan atap disisi angin tekan

$$= -0.9 + \frac{10.5 - 10}{15 - 10} \times -1 - (-0.9) = -0.88$$

Koefisien tekanan atap disisi angin hisap = -0.5

Langkah 7 : Menghitung tekanan angin, P pada atap :

- **Tekanan angin tekan pada atap**

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tekan}} &= q_h \times G \times C_p - q_h \times C_{pi} \\
 &= 81.466 \times 0.85 \times 0.88 - 81.466 \times 0.18 \\
 &= 46.2727 \text{ N/m}^2 \\
 &= 0.0462727 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

- **Tekanan angin hisap pada atap :**

$$\begin{aligned}
 P_{\text{hisap}} &= q_h \times G \times C_p - q_h \times C_{pi} \\
 &= 57 \times 0.85 \times 0.5 - 57 \times 0.18 \\
 &= 13.965 \text{ N/m}^2 \\
 &= 0.013965 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

- **Beban Angin Pada Kuda – kuda**

Beban angin tekan pada kuda – kuda

$$\begin{aligned} W \text{ overstek (W4)} &= P \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal} \\ &= 0.0462727 \times \left(\frac{1}{2} \times 1.5 \right) \times 8.572 \\ &= 0.28545 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W \text{ tepi (W3)} &= P \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal} \\ &= 0.0462727 \times \left(\frac{1}{2} \times 1.75 \right) \times 8.572 \\ &= 0.34707 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W \text{ tengah (W2)} &= P \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal} \\ &= 0.0462727 \times 1.75 \times 8.572 \\ &= 0.69414 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W \text{ puncak (W1)} &= P \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal} \\ &= 0.0462727 \times \left(\frac{1}{2} \times 1.75 \times 8.572 \right) \\ &= 0.34707 \text{ kN} \end{aligned}$$

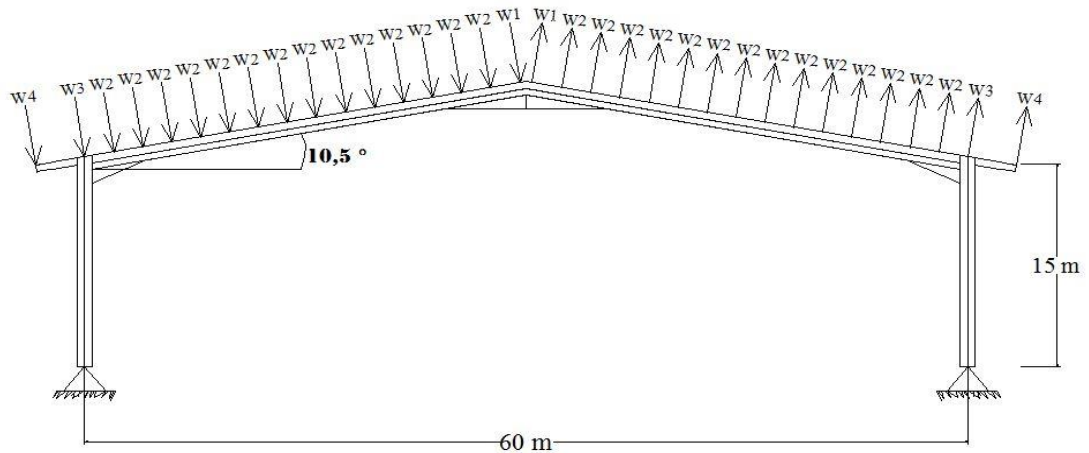
- **Beban angin hisap pada kuda – kuda**

$$\begin{aligned} W \text{ overstek (W4)} &= P \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal} \\ &= 0.013965 \times \left(\frac{1}{2} \times 1.5 \right) \times 8.572 \\ &= 0.08978 \text{ Kn} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W \text{ tepi (W3)} &= P \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal} \\ &= 0.013965 \times \left(\frac{1}{2} \times 1.75 \right) \times 8.572 \\ &= 0.10474 \text{ kN} \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned} W \text{ tengah (W2)} &= P \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal} \\ &= 0.013965 \times 1.75 \times 8.572 \\ &= 0.20949 \text{ kN} \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned} W \text{ puncak (W1)} &= P \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal} \\ &= 0.013965 \times \left(\frac{1}{2} \times 1.75 \right) \times 8.572 \\ &= 0.10474 \text{ kN} \end{aligned}$$



Gambar 4.8 Skema pembebanan pada kuda – kuda akibat angin

4.3.4 Beban Hujan (R)

Menurut SNI 1727 – 2013 hal 38, perencanaan beban hujan rencana sebagai berikut :

$$ds = 5 \text{ mm}$$

$$dh = 5 \text{ mm}$$

$$R = 0.0098 \times (ds + dh)$$

$$= 0.0098 \times (10)$$

$$= 0.098 \text{ kN/m}^2$$

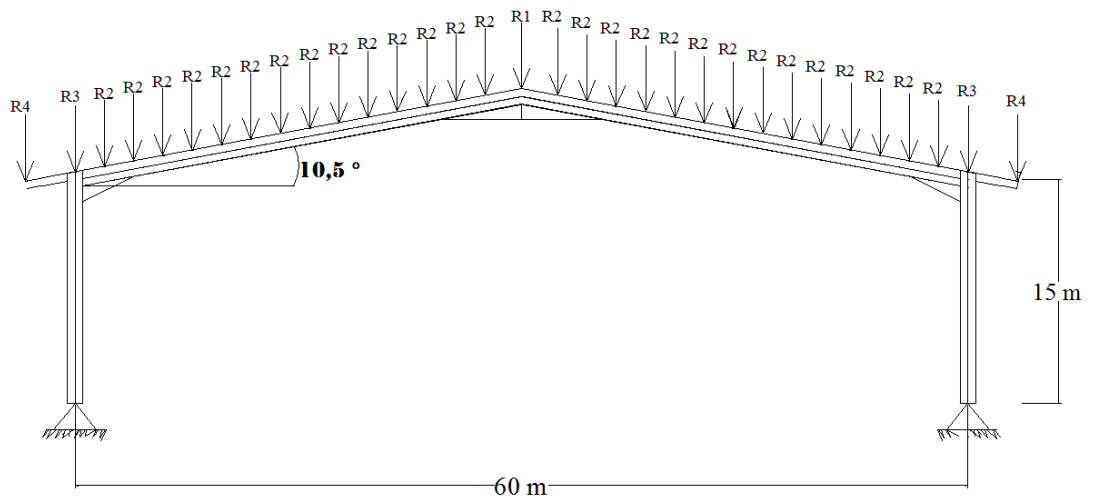
- Beban hujan pada kuda – kuda

$$\begin{aligned} R1 &= 0.098 \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal} \\ &= 0.098 \times (\frac{1}{2} \times 1,75) \times 8.572 \\ &= 0.73505 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R2 &= 0.098 \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal} \\ &= 0.098 \times 1.75 \times 8.572 \\ &= 1.4701 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R3 &= 0.098 \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal} \\ &= 0.098 \times (\frac{1}{2} \times 1,75) \times 8.572 \\ &= 0.73505 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R4 &= 0.098 \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal} \\ &= 0.098 \times (\frac{1}{2} \times 1.5) \times 8.572 \\ &= 0.630 \text{ kN} \end{aligned}$$



Gambar 4.9 Skema pembebanan akibat air hujan

4.3.5 Kombinasi Pembebanan

Adapun spesifikasi kombinasi pembebanan (SNI 03 – 1727 – 2013)

1. $1.4 D$
2. $1.2 D + 1.6 L_r + 0.5 R$
3. $1.2 D + 1.6 R + 0.5 W$
4. $1.2 D + 1.0 W + 0.5 R$
5. $1.2 D$
6. $0.9 D + 1.0 W$

Dimana :

D = Beban mati (beban gaya berat dari elemen – elemen struktur)

L_a = Beban hidup atap

W = Beban angin

R = Beban air hujan

Tabel 4.1 Pembebanan Pada Gording.

Type	D	L	R	W	
Arah	(kN/m)	(kN)	(kN/m)	(kN/m)	
				Tekan	Hisap
X	0,13385	0,8751	0,16863	0,07962	0,02403
Y	0,02481	0,1633	0,03125	0,01406	0,00445

Didapat nilai M_{uy} dan M_{ux} dengan menggunakan program bantu staadPro 2008 V8i Bentley sebesar

M_{ux} : 15.900 kN.mm

M_{uy} : 1.195 kNmm

▪ Dicoba Profil : C: 150.65.20.3.2

H = 150 mm

A = 65 mm

C = 20 mm

t = 3.2 mm

I_x = 332 cm⁴

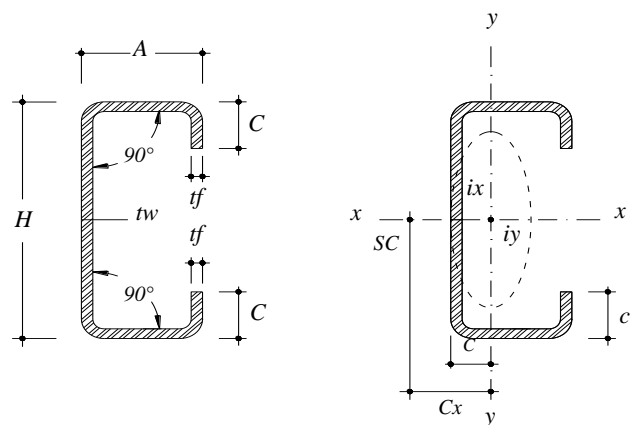
I_y = 54 cm⁴

i_x = 5,89 cm²

i_y = 2,37 cm²

Z_x = 44,3 cm³

Z_y = 12,2 cm³



Gambar 4.10 Profil Liped Channel.

▪ Kontrol Momen

$$\phi_b \cdot M_n = \phi_b \cdot M_p$$

$$Z_x \text{ perlu} = \frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot f_y} = \frac{15900}{0.9 \times 290} = 60,92 \text{ mm}^3 = 6,092 \text{ cm}^3$$

$$Z_x \text{ perlu} = 6,092 \text{ cm}^3 < Z_x = 44,3 \text{ cm}^3 \text{ OK}$$

$$\begin{aligned} M_{nx} &= Z_x \cdot f_y \\ &= 443 \times 290 \\ &= 128.470 \text{ kNmm} \end{aligned}$$

$$\phi b \cdot M_{nx} > M_{ux}$$

$$128.470 \text{ kNmm} > 15.900 \text{ kN.mm} \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$Z_y \text{ perlu} = \frac{M_{uy}}{\phi b \cdot f_y} = \frac{1.195}{0.9 \times 290} = 4,579 \text{ mm}^3 = 0,4579 \text{ cm}^3$$

$$Z_y \text{ perlu} = 0,4579 \text{ cm}^3 < Z_y = 12.2 \text{ cm}^3 \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$\begin{aligned} M_{ny} &= Z_y \cdot f_y \\ &= 122 \times 290 \\ &= 35.380 \text{ kNmm} \end{aligned}$$

$$\phi b \cdot M_{ny} > M_{uy}$$

$$35.380 \text{ kNmm} > 1.195 \text{ kNmm} \dots\dots\dots \text{OK}$$

▪ Kontrol puntir

$$\frac{M_{ux}}{\phi b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi b \cdot M_{ny}}$$

$$\frac{15.900}{0.9 \times 128.470} + \frac{1.195}{0.9 \times 35.380} = 0.175 < 1 \dots\dots\dots \text{OK}$$

Tabel 4.2 Batas lendutan Maksimum

Komponen Struktur dengan beban tidak terfaktor	Bab n Tetap	Bab an Sement ar a
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	L/360	-
Balok biasa	L/240	-
Kolom dengan analisis ordo pertama saja	h/500	h/200
Kolom dengan analisis ordo kedua	h/300	h/200

(Sumber : SNI 03-1727-2002: Tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung, hal 15)

• Kontrol Lendutan

$$f_{ijin} = \frac{L}{240} = \frac{857.2}{240} = 3.572 \text{ cm}$$

$$f_x = \frac{5 \cdot M_x \cdot L^2}{48 \cdot E \cdot I_x} = \frac{5 \times 432 \times 857.2^2}{48 \times 2.10^4 \times 332} = 5.189 \text{ cm}$$

$$f_y = \frac{5 \cdot M_y \cdot L^2}{48 \cdot E \cdot I_x} = \frac{5 \times 18 \times 857.2^2}{48 \times 2.10^4 \times 54} = 1.329 \text{ cm}$$

$$f = \sqrt{5.189^2 + 1.329^2}$$

$$= 5.356 \text{ cm} > 3.572 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{NO}$$

Lendutan tidak aman maka perlu dipasang trekstang pada arah sumbu lemah, sehingga dipasang 4 buah trekstang pada bentang gording sehingga:

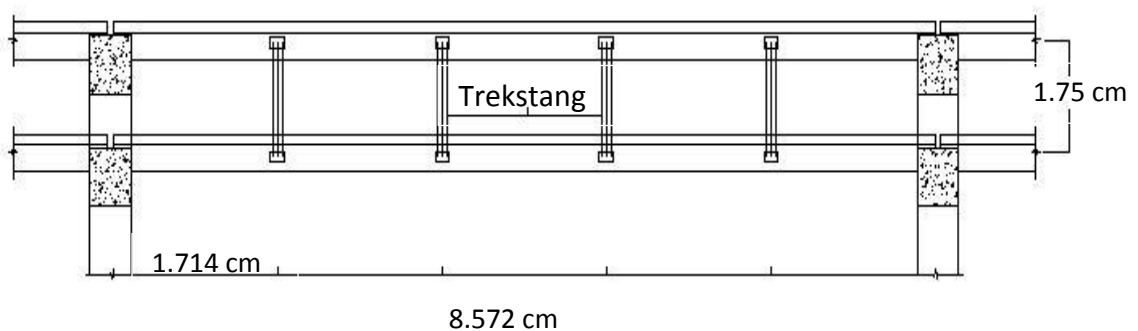
$$L_x = 1/5 \times \text{Jarak kuda-kuda}$$

$$L_x = 1/5 \times 857.2 = 171.4 \text{ cm}$$

$$f_x = \frac{5 \cdot M_y \cdot L^2}{48 \cdot E \cdot I_x} = \frac{5 \times 432 \times 171.4^2}{48 \times 2.10^4 \times 54} = 0.199 \text{ cm}$$

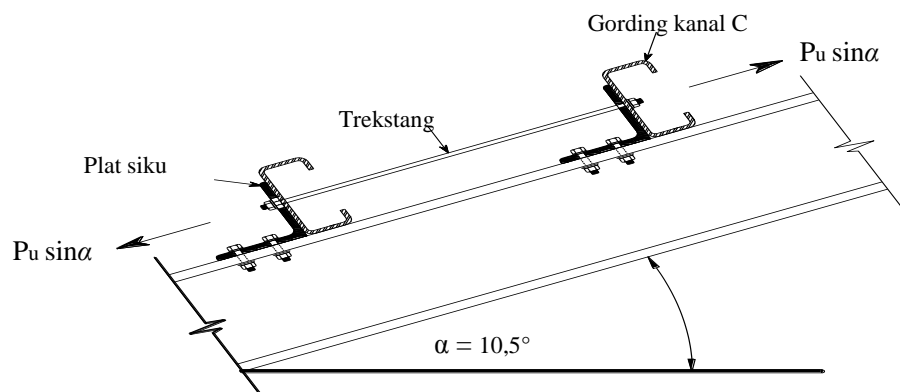
$$f = \sqrt{0.199^2 + 1.329^2}$$

$$= 1.344 \text{ cm} < 3.646 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{OK}$$



Gambar 4.10 Jarak antar trekstang pada gording (L_y).

- **Perencanaan Trekstang**



Gambar 4.11 Trekstang.

- Perhitungan Trekstang

$$\begin{aligned} P_u &= 1.2 D + 1.6 L \\ &= 1.2 \times 0.13385 + 1.6 \times 0.8751 = 1.561 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u \sin \alpha &= \frac{1.561}{\sin 10.5^\circ} \\ &= 8.565 \text{ kN} \\ &= 8565 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u = \phi f_y \cdot A_g \quad \text{untuk tegangan leleh } \phi = 0.9$$

$$A_g = \frac{P_u}{\phi f_y} = \frac{8565}{0.9 \cdot 240} = 39.653 \text{ mm}^2$$

- Untuk tegangan putus $\phi = 0.75$

$$P_u = \phi f_y \times 0.75 \times A_g$$

$$A_g = \frac{P_u}{\phi f_y \cdot 0.75} = \frac{8565}{0.75 \times 240 \times 0.75} = 63.444 \text{ mm}^2 \dots\dots \text{Menentukan}$$

$$A_g = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = 63.444 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{\frac{A_g}{\frac{1}{4} \cdot \pi}} \\ &= \sqrt{\frac{63.444}{\frac{1}{4} \cdot \pi}} \\ &= 8.988 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan trekstang dengan $\phi = 10 \text{ mm}$

Table 4.3 Pembagian Beban Kuda-Kuda.

Type Beban	D (kN)	La (kN)	R (kN)	Wtekan (kN)	Whisap (kN)
Oversteck	0.73831	0.89	0.63004	0.28545	0.08978
Tepi	1.10463	0.89	1.36509	0.64455	0.19452
Tengah	1.15696	0.89	1.4701	0.69414	0.20949
Puncak	0.79064	0.89	0.73505	0.34707	0.10474

4.4. Perhitungan Konstruksi Untuk Metode *Load and Resistance Factor*

Design (LRFD)

4.4.1 Perhitungan Momen Portal *Gable Frame*

Perhitungan Momen digunakan program bantu Staad Pro 2008 Bentley untuk mendapatkan nilai- nilai momen struktur *gable frame* yang diakibatkan beban mati termasuk berat sendiri, beban hidup, beban hujan dan beban angin dengan menggunakan profil WF : 700 . 600 . 18 . 34.

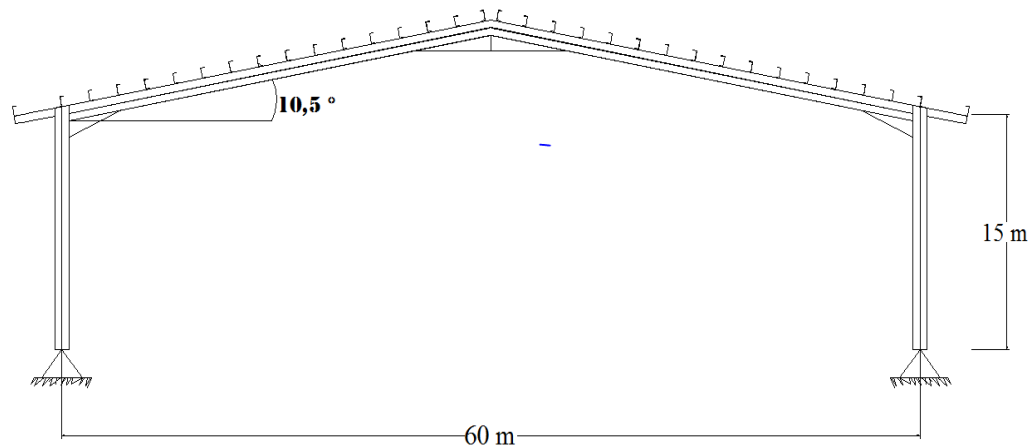
4.4.2 Perhitungan Balok Kolom Profil WF

Perhitungan Kolom

Didapat nilai gaya aksial tekan terfaktor (V_u) dan (M_u) dengan menggunakan program bantu Staad Pro 2008 V8i Bentley sebesar :

V_u : 289,2648 kN Dengan tinggi kolom (L) = 15,00 m

M_u : 1664,467 kN.m



Gambar 4.14. Portal Gable frame

Dicoba dengan profil WF 700. 600.18.34

Profil baja menggunakan BJ 37.

$$F_y = 290,00 \text{ MPa}$$

$$F_u = 500,00 \text{ MPa}$$

Data profil :

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$t_w = 18 \text{ mm}$$

$$t_f = 34 \text{ mm}$$

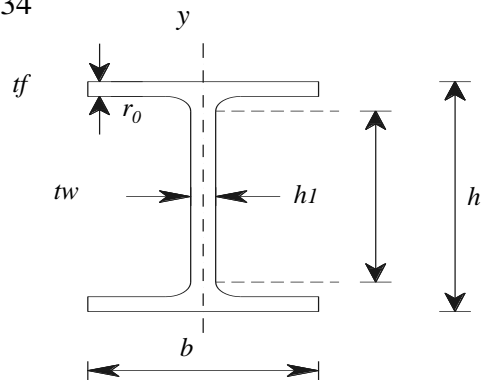
$$r_o = 28 \text{ mm}$$

$$h_1 = d - 2.(t_f + r_o)$$

$$= 576,0 \text{ mm}$$

$$I_x$$

$$I_y$$



$$r_x = 370 \text{ mm}$$

$$r_y = 65,6 \text{ mm}$$





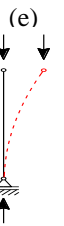





$$A_g = 52176 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 4.906.860.000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 1.224.310.000 \text{ mm}^4$$

4.5. Perhitungan Dimensi kolom balok

Faktor panjang efektif k_x , ditentukan dengan menggunakan faktor G.

Garis terputus menunjukkan	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai k_x teoritis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Nilai k_x desain	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Keterangan	       (jepit)  (sendi)  (rol tanpa rotasi)  (ujung bebas)					

(Sumber; Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II,

Agus Setiawan, hal: 57)

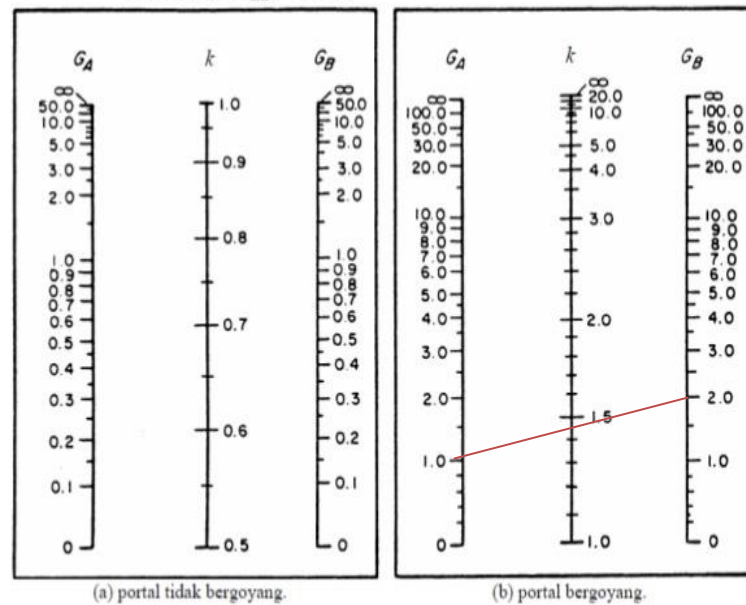
Gambar 4.15. Faktor panjang efektif

4.5.1. Kondisi Tumpuan Sendi - Sendi

$$G_A = 1$$

$$G_B = \frac{\sum (I/L) \text{ kolom}}{\sum (I/L) \text{ balok}} = \frac{654248,00}{321655,85} = 2,034$$

Nomogram



(Sumber; AISC, LRFD; Manual Of Steel Counstraction, second edition;
Column Design 3-6)

Gambar 4.16. Monogram faktor panjang tekuk

Dari nomogram didapat nilai k faktor panjang tekuk

$$k = 1,45$$

4.5.2. Periksa Kelangsingan Penampang

$$\text{Flens} : \frac{(b/2)}{t_f} = \frac{(600 / 2)}{34} = 8,824$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{290}} = 14,681$$

$$\frac{(b/2)}{t_f} < \lambda_r \quad \dots \text{KOMPAK}$$

$$\begin{aligned} \text{Web} \quad \frac{h}{t_w} &= \frac{700}{18} = 38,889 \\ \lambda_r &= \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{290}} = 39,050 \\ \frac{h}{t_w} &< \lambda_r \quad \dots \text{ KOMPAK} \end{aligned}$$

4.5.3. Aksial Tekan (Kolom)

Kelangsingan pada arah sumbu bahan.

$$\lambda_x = \frac{k \cdot L_x}{r_x} \quad ; \quad \lambda_y = \frac{k \cdot L_y}{r_y}$$

dimana : L_x, L_y = panjang komponen struktur tekan arah x dan arah y

k = faktor panjang tekuk

r_x, r_y = jari-jari girasi komponen struktur

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan*)

$$\begin{aligned} \frac{k_x \cdot L_x}{r_x} &= \frac{1,45 \times 15000}{370,0} = 58,784 \\ \frac{k_y \cdot L_y}{r_y} &= \frac{1,45 \times 15000}{65,60} = 331,555 \end{aligned}$$

$$\lambda_c = \frac{k_x \cdot L_x}{\pi \cdot r_x} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{58,784}{3,142} \sqrt{\frac{290,0}{200.000}} = 0,713$$

Besarnya ω ditentukan nilai λ_c .

$$\begin{aligned} \lambda_c < 0,25 & \quad \text{maka} \quad \omega &= 1 \\ 0,25 < \lambda_c < 1,2 & \quad \text{maka} \quad \omega &= \frac{1,43}{1,6 - 0,7 \cdot \lambda_{cx}} \\ \lambda_c > 1,2 & \quad \text{maka} \quad \omega &= 1,25 \lambda_c^2 \end{aligned}$$

(Sumber; Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II, Agus Setiawan)

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot \lambda_{cx}} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,288} = 1,274$$

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega}$$

$$= 52176,0 \times \frac{290,0}{1,274} = 11878,581 \text{ kN}$$

$$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} = \frac{289,265}{0,85 \times 11.878,58} = 0,03 < 0,2$$

(Sumber; SNI 03-1729-2002. hal. 24 pasal. 7.4.3.3)

4.5.4. Perhitungan Lentur (Kolom)

Periksa kelangsingan penampang

$$Flens = \frac{(b/2)}{t_f} = \frac{(600 / 2)}{34} = 8,824$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{290}} = 9,983$$

$$\frac{(b/2)}{t_f} < \lambda_p \quad \dots \text{ OK}$$

$$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_y} = \frac{289,265}{0,9 \times 290,0 \times 52176,00}$$

$$= 0,0021 < 0,13$$

Berdasarkan tabel 7.5.1 SNI 03-1729-2002 hal : 31 memberikan batasan

nilai untuk λ_p dan λ_r

$$\text{untuk } \frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} < 0,125, \quad \lambda_p =$$

$$\frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left(1 - \frac{2,75 \cdot N_u}{\phi_c \cdot N_y} \right)$$

$$\text{untuk } \frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} > 0,125, \quad \lambda_p =$$

$$\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left(2,33 - \frac{N_u}{\phi_c \cdot N_y} \right)$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{290}} \left(1 - (2,75 \times 0,0021) \right) = 98,08$$

$$\lambda = h/t_w = 576 / 18 = 32 < 98,1 \quad \text{KOMPAK}$$

Aksial Lentur Balok

Tekuk lokal Flens :

$$\lambda_f < \lambda_{pf}$$

$$\frac{b}{2 \times t_f} < 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{700}{2 \times 36} < 0,38 \times \sqrt{\frac{210000}{290}}$$

$$9,72222 < 10,225728 \quad \textbf{Kompak}$$

Tekuk Lokal web :

$$\lambda_w < \lambda_{pw}$$

$$\frac{h}{2 \times t_w} < 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{700}{2 \times 18} < 3,76 \times \sqrt{\frac{210000}{290}}$$

$$19,4444 < 101,18089 \quad \textbf{Kompak}$$

Tekuk torsi lateral :

Perhitungan tekuk torsi lateral berdasarkan SNI 1729 : 2015 halaman 51-52 .

Panjang komponen struktur utama.

$$L_P = 1,76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 176 \times 68,6 \times \sqrt{\frac{210000}{290}}$$

$$= 3249 \text{ mm}$$

$$= 3,249 \text{ m}$$

Karena balok WF direncanakan dalam kondisi kompak, maka panjang jarak pengaku lateral / stiffner pada balok WF yang direncanakan yaitu L Stiffner < Lp 3.25 m. Pada balok WF pengaku lateral diletanak di badan.

4.6. Perbesaran Momen (δ_b)

Untuk menghitung (δ_b) diperlukan rasio kelangsingan dari portal.

$$\frac{k_x \cdot L_x}{r_x} = \frac{1,45 \times 15000}{370,0} = 58,784$$

$$\begin{aligned} C_m &= 0,6 - 0,4 (M_1/M_2) \\ &= 0,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{el} &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_g}{((k.L)/r)^2} = \frac{3,14 \cdot 2000 \cdot 52.176}{3455,533} \\ &= 9.487,146 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$N_u = 289,2648 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \delta_b &= \frac{C_m}{1 - (N_u/N_{el})} = \frac{0,6}{1 - (289,26/9.487,1)} \\ &= 0,619 < 1,0 \end{aligned}$$

Diambil (δ_b) sebesar 1,0

$$\begin{aligned} M_{ux} &= \delta_b \cdot M_{ntu} \\ &= 1,0 \cdot 1664,467 \\ &= 1.664,47 \text{ kN.m} \\ &= 166.446,7 \text{ kN.cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{N_u}{\phi \cdot N_n} &\leq 0,2 \\ \frac{N_u}{2\phi \cdot N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} \right) &\leq 1 \\ 0,057 + \left(\frac{166.446,7}{1.215.606,0} \right) &\leq 1 \\ &= 0,194 \leq 1,0 \end{aligned}$$

Jadi profil WF : 700. 600 . 18 . 34 cukup untuk memikul beban sesuai LRFD.

Kontrol Lendutan

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 tabel 6.4-1 batas maksimum adalah :

$$f_{ijin} = \frac{L}{290} = \frac{3051}{290} = 10,521 \text{ cm}$$

Lendutan maksimum yang didapat dari program bantu StaadPro 2008 vi8

$$\text{sebesar} = 3,3832 \text{ cm}$$

$$f_{ijin} \geq f_{maks}$$

$$10,521 \geq 3,3832 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

4.5 Perhitungan Sambungan WF

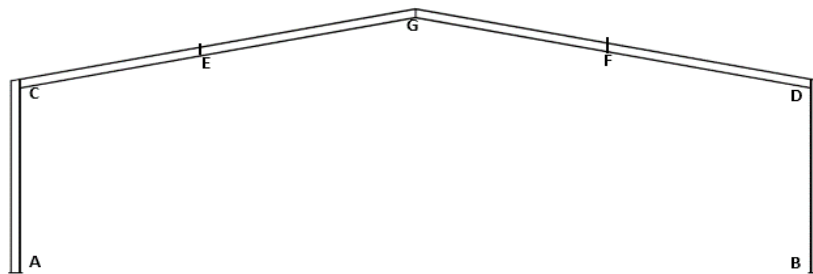
Data Perencanaan

Profil Baja WF

Tinggi balok (d)	=	700 mm
Lebar balok (b)	=	600 mm
Tebal web (t_w)	=	18 mm
Tebal flange (t_f)	=	34 mm

Kolom WF

Tinggi kolom (d)	=	700 mm
Lebar kolom (b)	=	600 mm
Tebal web (t_w)	=	18 mm
Tebal flange (t_f)	=	34 mm



Gambar 4.13 Penamaan Sambungan

Sambungan G (Rafter Puncak)

Sambungan E = Sambungan F (Rafter Balok - Balok)

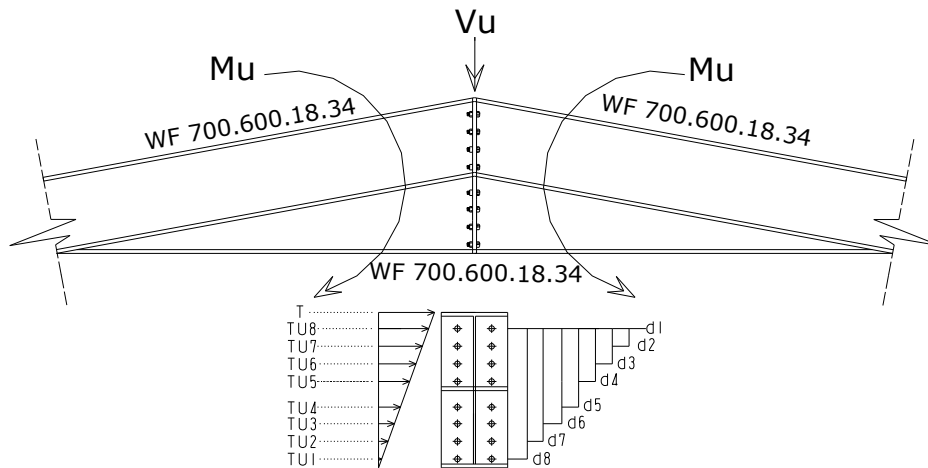
Sambungan C = Sambungan D (Rafter Kolom - Balok)

Sambungan A = Sambungan B (Base Plate)

4.5.1 Perhitungan Sambungan Rafter Puncak (Sambungan G)

Didapat nilai gaya aksial tekan terfaktor (N_u) dan (M_u) dengan menggunakan program bantu Staad Pro 2008

M_u =	1664,467	kN.m
V_u =	289,26	kN
f_y =	290	Mpa
f_u =	500	Mpa



Gambar 4.14 Skema Rafter Balok-balok puncak.

a). Sambungan Baut

dimensi lubang baut (d) = 33 mm (SNI 1729:2015 hal 126)
 kekuatan nominal pengencang A325 (SNI 1729:2015 hal 125)

F_{nt} (Kekuatan tarik nominal) = 620 Mpa

F_{nw} (Kekuatan geser nominal) = 372 Mpa

Tegangan tarik pelat = 290 Mpa

Luas baut (A_b) = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2$

= $\frac{1}{4} \times \pi \times 30^2$

= 706,5 mm

Kekuatan Tarik dan Geser dari baut (SNI 1729:2015 hal 129)

Kuat nominal terhadap tarik :

R_n = $F_{nt} \times A_b$
 = 620 x 706,5
 = 438030 N

ϕR_n = 0,75 x 438030
 = 328522,5 N

Kuat nominal terhadap geser baut (1 bidang geser)

R_n = $F_{nw} \times A_b \times m$
 = 372 x 706,5 x 1

$$= 262818 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times 262818 \\ &= 197113,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Jarak minimum, dari pusat lubang ke tepi dari bagian yang disambung diameter

$$\begin{aligned} \text{baut} & 30 \text{ mm} & db &= 33 \text{ mm} \\ \text{tebal pel} & t & &= 34 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kuat nominal tumpu pada lubang-lubang baut (SNI 1729:2015, hal 132)

$$R_n = 2,4 \times db \times t \times f_u$$

$$\begin{aligned} R_n &= 2,4 \times 33 \times 34 \times 500 \\ &= 1346400 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times 1346400 \\ &= 1009800 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Diambil kontrol yang terkecil} = 197113,5 \text{ N}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} n &= V_u / \phi R_n \\ &= \frac{289264,8}{197113,5} \\ &= 1,467503748 \sim 16 \text{ baut} \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan geser

$$\begin{aligned} V_u/n &\leq \phi R_n \\ \frac{289265}{16} &\leq 197113,5 \end{aligned}$$

$$18079 \leq 197113,5 \text{ N} \quad \text{OK}$$

Jarak minimum, dari pusat lubang ke tepi dari bagian yang disambung

$$\begin{aligned} \text{diameter baut} &= 30 \text{ mm} = 33 \text{ mm} \\ \text{tebal pelat } t &= 34 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak maksimum, dari pusat lubang ke tepi dari bagian yang disambung

$$\begin{aligned} &= 12.t \text{ atau } 150 \text{ mm} \\ &= 408 \text{ atau } 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

jarak lubang baut ke tepi diambil = 150 mm

jarak minimum antar baut

$$= 3.d$$

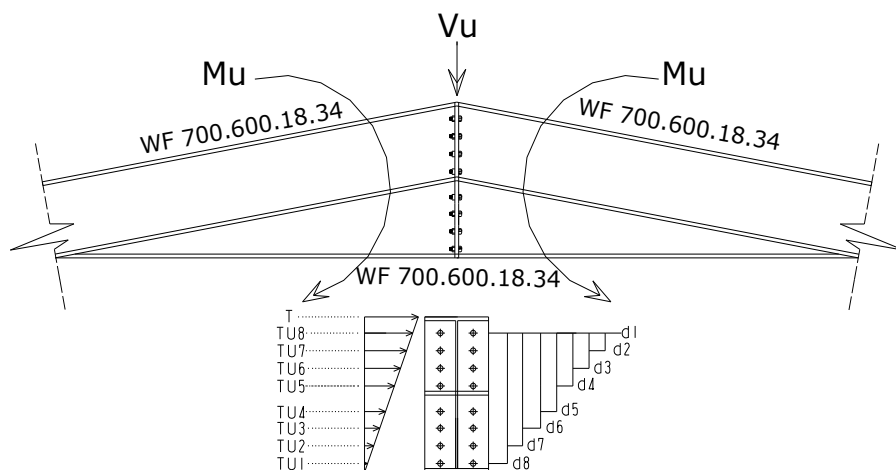
$$= 3 \times 30 = 90 \text{ mm}$$

jarak maksimum antar baut

$$= 14.t \quad \text{atau } 180 \text{ mm}$$

$$= 476 \quad \text{atau } 180 \text{ mm}$$

Jarak dari baut ke baut = 160 mm



Gambar 4.15 Diagram Tegangan Rafter Balok-balok

Jarak baut (dt)

d1 =	160 mm	d5 =	711,9 mm
d2 =	320 mm	d6 =	862,6 mm
d3 =	480 mm	d7 =	1022,6 mm
d4 =	640 mm	d8 =	1182,6 mm

$$dt = \left(d1 + d2 + d3 + d4 + d5 + d6 + d7 + d8 \right)$$

$$= \left(160 + 320 + 480 + 640 + 711,9 + 862,6 + 1022,6 + 1182,6 \right)$$

$$= 5379,7 \text{ mm}$$

Kontrol terhadap tarik baut

Gaya Tarik perlu (pada 2 baut dalam 1 baris)

$$Tu1 = \frac{Mu \times d8}{dt^2} \times \frac{1182,6}{5379,7^2} = 68013,78562 \text{ N}$$

$$Tu2 = \frac{Mu \times d7}{dt^2} = \frac{1664467000}{5379,7^2} \times 1022,6 = 58811,85285 \text{ N}$$

$$Tu3 = \frac{Mu \times d6}{dt^2} = \frac{1664467000}{5379,7^2} \times 862,6 = 49609,92007 \text{ N}$$

$$Tu4 = \frac{Mu \times d5}{dt^2} = \frac{1664467000}{5379,7^2} \times 711,9 = 40942,84964 \text{ N}$$

$$Tu5 = \frac{Mu \times d4}{dt^2} = \frac{1664467000}{5379,7^2} \times 640 = 36807,7311 \text{ N}$$

$$Tu6 = \frac{Mu \times d3}{dt^2} = \frac{1664467000}{5379,7^2} \times 480 = 27605,79832 \text{ N}$$

$$Tu7 = \frac{Mu \times d2}{dt^2} = \frac{1664467000}{5379,7^2} \times 320 = 18403,86555 \text{ N}$$

$$Tu8 = \frac{Mu \times d1}{dt^2} = \frac{1664467000}{5379,7^2} \times 160 = 9201,932775 \text{ N}$$

Gaya tarik pada baut

$$\begin{aligned} Tb &= Ab \times Fub \\ &= 706,5 \times 620 \\ &= 438030 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Td &= \phi \cdot Tb \\ &= 0,75 \times 438030 \\ &= 328522,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena dalam 1 baris terdiri dari 2 baut, maka

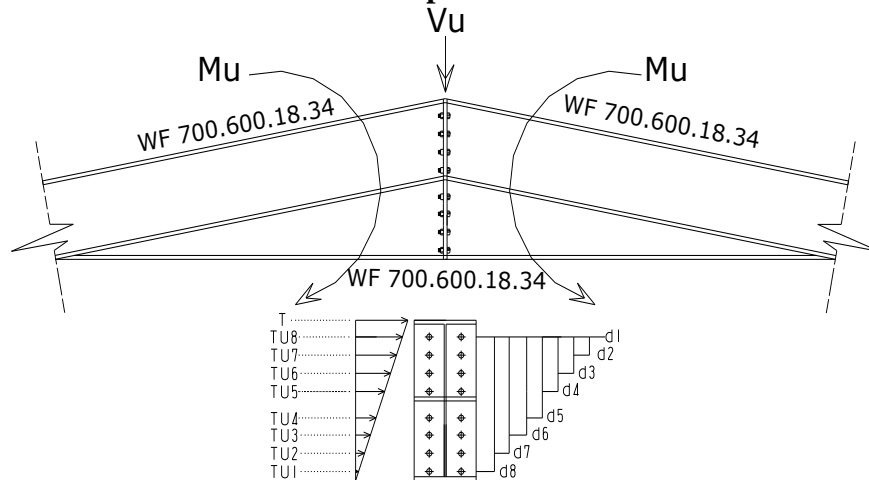
$$\begin{aligned} Td_2 &= 2 \times 328522,5 \\ &= 657045 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat : $Tu < Td$

Tu1 =	68013,78562	<	328522,5	Ok
Tu2 =	58811,85285	<	328522,5	Ok
Tu3 =	49609,92007	<	328522,5	Ok
Tu4 =	40942,84964	<	328522,5	Ok
Tu5 =	36807,7311	<	328522,5	Ok

Tu6 =	27605,79832	<	328522,5	Ok
Tu7 =	18403,86555	<	328522,5	Ok
Tu8 =	9201,932775	<	328522,5	Ok

Kontrol Kekuatan baut terhadap momen



Gambar 4.16 Diagram Tegangan Rafter Balok-balok

Kuat nominal 1 baut terhadap tarik $T_d = 328522,5 \text{ N}$

Garis netral diasumsikan $< S1$ 100 mm

$$\begin{aligned}
 \sum T &= Tu1 + Tu2 + Tu3 + Tu4 + Tu5 + Tu6 + Tu7 + Tu8 \\
 &= 68013,8 + 58811,9 + 49609,9 + 40942,8 + 36807,7 + 27605,8 + \\
 &\quad 18403,9 + 9201,9 \\
 &= 309397,7359 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Td_2	x d1 =	438030 x	160	=	70084800 Nmm
Td_2	x d2 =	438030 x	320	=	140169600 Nmm
Td_2	x d3 =	438030 x	480	=	210254400 Nmm
Td_2	x d4 =	438030 x	640	=	280339200 Nmm
Td_2	x d5 =	438030 x	711,9	=	311833557 Nmm
Td_2	x d6 =	438030 x	862,6	=	377844678 Nmm
Td_2	x d7 =	438030 x	1022,6	=	447929478 Nmm
Td_2	x d8 =	438030 x	1182,6	=	518014278 Nmm

$$\sum_{i=1}^n Td \cdot di = 2356469991 \text{ Nmm}$$

Garis netral pada pelat siku (a) :

$$a = \frac{\sum T}{f_y \times b} = \frac{309397,7359}{290 \times 600} = 1,7781479$$

$$= 1,778147908 \text{ mm} < S1 = 100 \text{ mm} , \text{ maka asumsi benar}$$

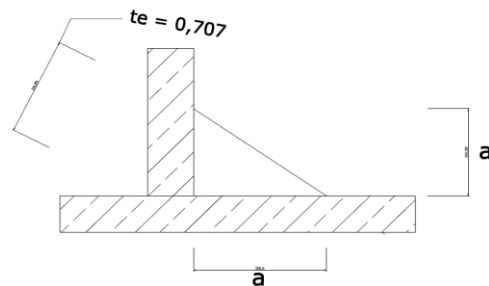
Momen Rencana :

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \frac{0,9 \times f_y \times a^2 \times b}{2} + \sum_{i=1}^n T d_i \cdot d_i \\ &= \frac{0,9 \times 290 \times 1,66^2 \times 600}{2} + 2356469991 \\ &= 215763,48 + 2523052800 \\ &= 2356685754 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol Momen

$$\begin{aligned} \phi M_n \text{ baut} &\geq M_u \\ 2356685754 &\geq 1664467000 \text{ Nmm} \quad \textbf{Aman.} \end{aligned}$$

b) Las Sudut



Gambar 4.17 Skema Sambungan Las

Persyaratan ukuran las (SNI 1729:2015, hal 116)

tebal pelat yang disambung (t_w) = 18 mm

ukuran minimum las sudut (a) $13 < 18 < 19$ = 6 mm

ukuran maksimum las sudut

= Tebal pelat - 2 mm

= 18 - 2

= 16 mm

diambil las sudut (a) = 11 mm

Throat Efektif untuk las sudut

$$\begin{aligned} te &= 0,707 \times 11 \\ &= 7,777 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang minimum las sudut

$$\begin{aligned} l_{min} &= 4 \times 11 \\ &= 44 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai elektroda 60

Tegangan leleh las (F_{ex}) 354 Mpa

Tegangan nominal dari logam las

$$\begin{aligned} F_{nw} &= 0,6 \cdot F_{exx} (1 + 0,5 \sin^{1,5} \theta) \\ &= 0,6 \cdot 354 \times (1 + 0,5 \sin^{1,5} 60^\circ) \\ &= 212,4 \times 1,4057 \\ &= 298,579 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kuat Rencana Las sudut.

$$\begin{aligned} \phi R_{nw} &= \phi \times F_{nw} \times te \\ &= 0,75 \times 298,579 \times 7,777 \\ &= 1741,5 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Panjang efektif las yang dibutuhkan L_w

$$\begin{aligned} L_w &= (2 \cdot bf) + (2 \cdot \pi \cdot r) + 2 \cdot (bf - t_w - 2 \cdot r) + 2 \cdot (d - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r - t_w) + (2 \cdot t_f) \\ &= (2 \times 600) + (2 \times 3,14 \times 44) + 2 \times (600 - 18 - 2 \times 44) + \\ &\quad 2 \times (700 - 2 \times 34 - 2 \times 44 - 18) + (2 \times 18) \\ &= 3552,32 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol las terhadap tegangan tarik

$$L_w = \frac{V_u}{\phi R_{nw}} = \frac{289264,80}{1741,53666} = 166,0974508 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_w &> l_{min} \\ 166,0974508 \text{ mm} &> 44 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang las yang digunakan = 166,1 mm

c) Pelat Ujung (End Plate)

Menurut AISC hal 10-25 perencanaan tebal pelat ujung sebagai berikut :

$$t_{min} = \sqrt{4 \times M_{eu}}$$

$$\sqrt{\phi \times F_y \times b_p}$$

$$C_a = 1,36 \quad (\text{AISC Tabel 10-1})$$

$$b_p = b_f + 25,4 \text{ mm} = 600 + 25,4 = 625,4 \text{ mm}$$

$$C_b = \sqrt{\frac{b_f}{b_p}} = \sqrt{\frac{600}{625,4}} = 0,979482513$$

$$d_b = \text{dimensi baut} = 30 \text{ mm}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$p_f = \text{jarak pusat ke tepi} - t_f$$

$$= 150 - 18$$

$$= 132 \text{ mm}$$

$$p_e = p_f - \frac{d_b}{4} - \text{Lebar kaki las}$$

$$= 132 - (30/4) - 6$$

$$= 118,5 \text{ mm}$$

Luas sayap pada balok tarik (A_f)

$$A_f = b_f \times t_f$$

$$= 600 \times 34$$

$$= 20400 \text{ mm}^2$$

Luas bersih (A_w)

$$A_w = (h - 2t_f) \times t_w$$

$$= (700 - 2 \times 34) \times 18$$

$$= 11376 \text{ mm}^2$$

$$a_m = C_a \times C_b \left(\frac{A_f}{A_w} \right)^{1/3} \times \left(\frac{p_e}{d_b} \right)^{1/3}$$

$$a_m = 1,36 \times 0,97948 \left(\frac{20400}{11376} \right)^{1/3} \times \left(\frac{118,5}{30} \right)^{1/3}$$

$$= 1,04840637$$

Gaya terfaktor pada sayap (P_{uf})

$$P_{uf} = \frac{M_u}{h - t_f}$$

$$= \frac{1664467000}{700 - 34}$$

$$= 2400000$$

$$= 2499199,7 \text{ N}$$

Momen Pelat Ujung (M_{eu})

$$M_{eu} = a_m \times p_{uf} \times \frac{pe}{4}$$

$$= 1,04840637 \times 2499199,7 \times \frac{118,5}{4}$$

$$= 77622740,25 \text{ Nmm}$$

Tebal Pelat Ujung Minimum (t_{min})

$$t_{min} = \sqrt{\frac{4 \times M_{eu}}{\phi \times F_y \times b_p}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \times 77622740,2}{0,9 \times 290 \times 625,4}}$$

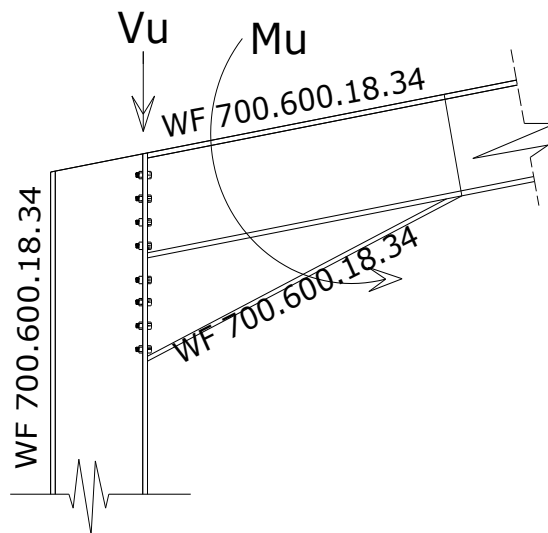
$$= 43,61393667 \text{ mm} \sim 43 \text{ mm}$$

Jadi Tebal pelat yang digunakan untuk sambungan E adalah 43 mm.

4.6 Perhitungan Sambungan Rafter Tepi (Sambungan C - D)

Didapat nilai gaya aksial tekan terfaktor (V_u) dan (M_u) dengan menggunakan program bantu Staad Pro 2008

$$\begin{aligned} M_u &= 1664,467 \text{ kN.m} \\ V_u &= 289,26 \text{ kN} \\ f_y &= 290 \text{ Mpa} \\ f_u &= 500 \text{ Mpa} \end{aligned}$$



Gambar 4.18 Skema Sambungan Rafter Balok-kolom Tepi

a). Sambungan Baut

dimensi lubang baut (d) = 33 mm (SNI 1729:2015 hal 126)
 kekuatan nominal pengencang A325 (SNI 1729:2015 hal 125)

$$\begin{aligned} F_{nt} \text{ (Kekuatan tarik nominal)} &= 620 \text{ Mpa} \\ F_{nw} \text{ (Kekuatan geser nominal)} &= 372 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan tarik pelat} &= 290 \text{ Mpa} \\ \text{Luas baut (Ab)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 30^2 \\ &= 706,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kekuatan Tarik dan Geser dari baut (SNI 1729:2015 hal 129)

Kuat nominal terhadap tarik :

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nt} \times A_b \\
 &= 620 \times 706,5 \\
 &= 438030 \text{ N} \\
 \\
 \phi R_n &= 0,75 \times 438030 \\
 &= 328522,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat nominal terhadap geser baut (1 bidang geser)

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nw} \times A_b \times m \\
 &= 372 \times 706,5 \times 1 \\
 &= 262818 \text{ N} \\
 \\
 \phi R_n &= 0,75 \times 262818 \\
 &= 197113,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Jarak minimum, dari pusat lubang ke tepi dari bagian yang disambung
diameter

$$\begin{aligned}
 \text{baut} : 30 \text{ mm} \quad db &= 38 \text{ mm} \\
 \text{tebal pelat} \quad t &= 34 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kuat nominal tumpu pada lubang-lubang baut (SNI 1729:2015, hal 132)

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2,4 \times db \times t \times f_u \\
 \\
 R_n &= 2,4 \times 38 \times 34 \times 500 \\
 &= 1550400 \text{ N} \\
 \\
 \phi R_n &= 0,75 \times 1550400 \\
 &= 1162800 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\text{Diambil kontrol yang terkecil} = 197113,5 \text{ N}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan

$$\begin{aligned}
 n &= V_u / \phi R_n \\
 &= \frac{289264,80}{197113,5} \\
 &= 1,467503748 \sim 16 \text{ baut}
 \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan geser

$$\begin{array}{rcl} V_u/n & \leq & \phi R_n \\ \frac{289265}{16} & \leq & 197113,5 \\ 18079,1 & \leq & 197113,5 \text{ N} \quad \mathbf{OK} \end{array}$$

Jarak minimum, dari pusat lubang ke tepi dari bagian yang disambung

$$\begin{array}{rcl} \text{diameter baut} & = & 30 \text{ mm} = 38 \text{ mm} \\ \text{tebal pelat } t & = & 34 \text{ mm} \end{array}$$

Jarak maksimum, dari pusat lubang ke tepi dari bagian yang disambung

$$\begin{array}{rcl} & = & 12.t \quad \text{atau } 150 \text{ mm} \\ & = & 408 \quad \text{atau } 150 \text{ mm} \end{array}$$

$$\text{jarak lubang baut ke tepi diambil} = 150 \text{ mm}$$

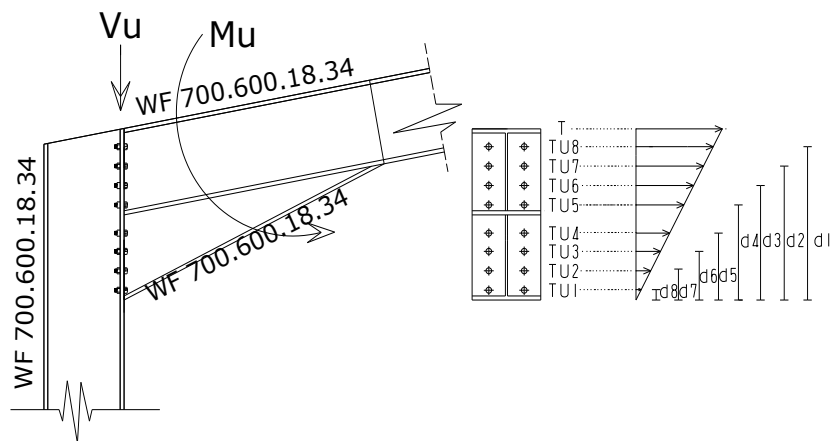
jarak minimum antar baut

$$\begin{array}{rcl} & = & 3.d \\ & = & 3 \times 30 = 90 \text{ mm} \end{array}$$

jarak maksimum antar baut

$$\begin{array}{rcl} & = & 14.t \quad \text{atau } 180 \text{ mm} \\ & = & 476 \quad \text{atau } 180 \text{ mm} \end{array}$$

$$\text{Jarak dari baut ke baut} = 160 \text{ mm}$$



Gambar 4. 19 Diagram Tegangan Rafter Balok-Kolom

Jarak baut (dt)

d1 =	1262,8 mm	d5 =	550,9 mm
d2 =	1102,8 mm	d6 =	400,9 mm
d3 =	942,8 mm	d7 =	254,7 mm
d4 =	782,8 mm	d8 =	85,9 mm

$$dt = \left(d1 + d2 + d3 + d4 + d5 + d6 + d7 + d8 \right)$$

$$= \left(1262,8 + 1102,8 + 942,8 + 782,8 + 550,9 + 400,9 + 254,7 + 85,9 \right)$$

$$= 5383,6 \text{ mm}$$

Kontrol terhadap tarik baut

Gaya Tarik perlu (pada 2 baut dalam 1 baris)

$$Tu1 = \frac{Mu \times d8}{dt^2} = \frac{1664467000}{5383,6^2} \times 85,9 = 4933,1325 \text{ N}$$

$$Tu2 = \frac{Mu \times d7}{dt^2} = \frac{1664467000}{5383,6^2} \times 254,7 = 14627,111 \text{ N}$$

$$Tu3 = \frac{Mu \times d6}{dt^2} = \frac{1664467000}{5383,6^2} \times 400,9 = 23023,199 \text{ N}$$

$$Tu4 = \frac{Mu \times d5}{dt^2} = \frac{1664467000}{5383,6^2} \times 550,9 = 31637,517 \text{ N}$$

$$Tu5 = \frac{Mu \times d4}{dt^2} = \frac{1664467000}{5383,6^2} \times 782,8 = 44955,252 \text{ N}$$

$$Tu6 = \frac{Mu \times d3}{dt^2} = \frac{1664467000}{5383,6^2} \times 942,8 = 54143,858 \text{ N}$$

$$Tu7 = \frac{Mu \times d2}{dt^2} = \frac{1664467000}{5383,6^2} \times 1102,8 = 63332,463 \text{ N}$$

$$Tu8 = \frac{Mu \times d1}{dt^2} = \frac{1664467000}{5383,6^2} \times 1262,8 = 72521,068 \text{ N}$$

Gaya tarik pada baut

$$Tb = Ab \times Fub$$

$$= 706,5 \times 620$$

$$= 438030 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 T_d &= \phi \cdot T_b \\
 &= 0,75 \quad \times \quad 438030 \\
 &= 328522,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

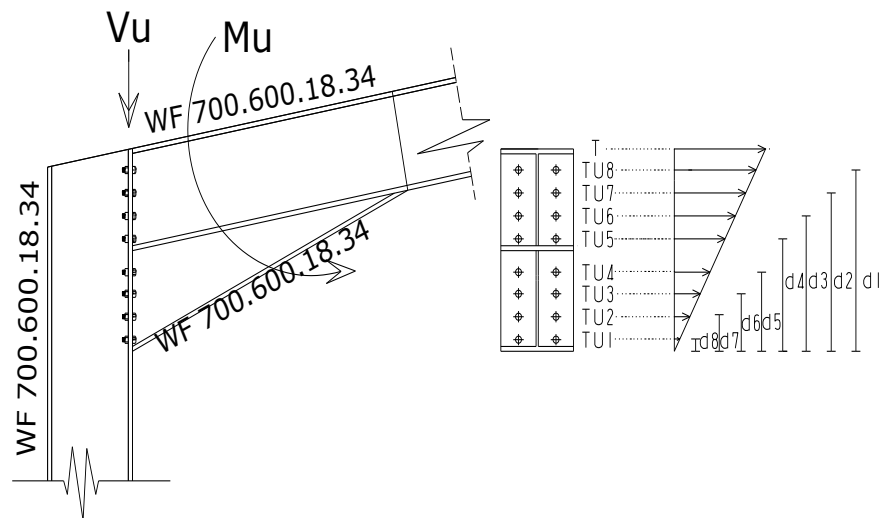
Karena dalam 1 baris terdiri dari 2 baut, maka

$$\begin{aligned}
 T_{d_2} &= 2 \quad \times \quad 328522,5 \\
 &= 657045 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat : $T_u < T_d$

Tu1 =	4933,132542	<	328523 Ok
Tu2 =	14627,11127	<	328523 Ok
Tu3 =	23023,19949	<	328523 Ok
Tu4 =	31637,51708	<	328523 Ok
Tu5 =	44955,25208	<	328523 Ok
Tu6 =	54143,85751	<	328523 Ok
Tu7 =	63332,46295	<	328523 Ok
Tu8 =	72521,06838	<	328523 Ok

Kontrol Kekuatan baut terhadap momen



Gambar 4. 20 Diagram Tegangan Rafter Balok-Kolom

Kuat nominal 1 baut terhadap tarik $T_d = 328522,5 \text{ N}$

Garis netral diasumsikan $< S1$ 100 mm

$$\begin{aligned}
 \sum T &= Tu1 + Tu2 + Tu3 + Tu4 + Tu5 + Tu6 + Tu7 + Tu8 \\
 &= 4933,13 + 14627,11 + 23023,19 + 31637,51 + 44955,25 \\
 &\quad + 54143,86 + 63332,46 + 72521,07 \\
 &= 309173,6013 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Td_2	x d1 =	438030 x	1262,8	=	553144284	Nmm
Td_2	x d2 =	438030 x	1102,8	=	483059484	Nmm
Td_2	x d3 =	438030 x	942,8	=	412974684	Nmm
Td_2	x d4 =	438030 x	782,8	=	342889884	Nmm
Td_2	x d5 =	438030 x	550,9	=	241310727	Nmm
Td_2	x d6 =	438030 x	400,9	=	175606227	Nmm
Td_2	x d7 =	438030 x	254,7	=	111566241	Nmm
Td_2	x d8 =	438030 x	85,9	=	37626777	Nmm

$$\sum_{i=1}^n Td \cdot di = 2358178308 \text{ Nmm}$$

Garis netral pada pelat siku (a) :

$$a = \frac{\sum T}{f_y \times b} = \frac{309174}{290 \times 600} = 1,777$$

$$= 1,776859778 \text{ mm} < S1 = 100 \text{ mm} , \text{ maka asumsi benar}$$

Momen Rencana :

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \frac{0,9 \times f_y \times a^2 \times b}{2} + \sum_{i=1}^n Td \cdot di \\ &= \frac{0,9 \times 290 \times 1,66^2 \times 600}{2} + 2358178308 \\ &= 215763,48 - 2523052800 \\ &= 2358394071 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol Momen

$$\phi M_n \text{ baut} \geq M_u \geq 1664467000 \text{ Nmm} \quad \textbf{Aman.}$$

Kontrol Web cripling (lipatan pada plat badan)

Kondisi dimana tanpa pengaku segitiga dihitung berdasarkan momen nominal.

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times Z_x \times f_y \\ &= 0,9 \times 9013800 \times 290 \\ &= 2352601800 \quad \text{Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_u &= \frac{8 \times \phi M_n}{2 \times L} = \frac{8}{2} \times \frac{2352601800}{30510} \\ &= 308437 \text{ N}\end{aligned}$$

Dicoba tanpa pengaku, N (pancang pengaku)
(Structural Steel Design Jack C. McCormac)

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi \times 0,4 \times t_w^2 \times \left(1 + \frac{3 \times N}{h} \times \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right) \times \sqrt{\frac{E \times f_y \times t_f}{t_w}} \\ \phi P_n &= 0,75 \times 0,4 \times 18^2 \times \left(1 + \frac{0}{700} \times \left(\frac{18}{34} \right)^{1,5} \right) \times \sqrt{\frac{200000 \times 250 \times 34}{18}} \\ &= 97,2 \times 1 \times 3073,1815 \\ &= 298713 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccc}\phi P_n & \geq & P_u \\ 298713,2404 & < & 308437 \text{ N} \quad \textbf{Tidak Aman}\end{array}$$

Maka diberi pengaku pada sambungan

Dicoba pengaku N = 2526 mm

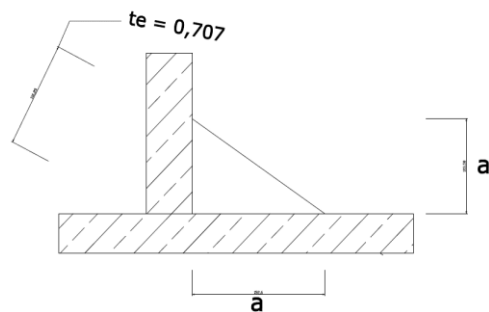
$$\frac{N}{d} = \frac{2526}{700} = 3,6086 > 0,2$$

$$\phi P_n = \phi \times 0,4 \times t_w^2 \times \left(1 + \frac{3 \times N}{h} \times \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right) \times \sqrt{\frac{E \times f_y \times t_f}{t_w}}$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= 0,75 \times 0,4 \times 18^2 \times \left(1 + \left[\frac{3 \times 2526}{700} \right] \times \left[\frac{18}{34} \right]^{1,5} \times \sqrt{\frac{200000 \times 250 \times 34}{18}} \right) \\
 &= 97,2 \times 5,1701045 \times 3073,1815 \\
 &= 1544379 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccc}
 \phi P_n & \geq & P_u \\
 1544378,682 & \geq & 308437 \text{ N} \quad \textbf{Aman}
 \end{array}$$

b) Las Sudut



Gambar 4. 21 Diagram Tegangan Rafter Balok-Kolom

Persyaratan ukuran las (SNI 1729:2015, hal 116)

tebal pelat yang disambung (t_w) = 18 mm

ukuran minimum las sudut (a) $13 < 18 < 19 = 6 \text{ mm}$

ukuran maksimum las sudut

= Tebal pelat - 2 mm

= 18 - 2

= 16 mm

diambil las sudut (a) = 11 mm

Throat Efektif untuk las sudut

$t_e = 0,707 \times 11$

= 7,777 mm

Panjang minimum las sudut

$l_{min} = 4 \times 11$

= 44 mm

Dipakai elektroda 60

Tegangan leleh las (F_{exx}) 354 Mpa

Tegangan nominal dari logam la.

$$\begin{aligned}
 F_{nw} &= 0,6 \cdot F_{exx} \quad (1 + 0,5 \sin^{1,5} \theta) \\
 &= 0,6 \cdot 354 \times (1 + 0,5 \sin^{1,5} 60^\circ) \\
 &= 212,4 \times 1,4057 \\
 &= 298,579 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Kuat Rencana Las sudut.

$$\begin{aligned}
 \phi R_{nw} &= \phi \times F_{nw} \times t_e \\
 &= 0,75 \times 298,579 \times 7,777 \\
 &= 1741,5 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

Panjang efektif las yang dibutuhkan L_w

$$\begin{aligned}
 L_w &= (2 \cdot b_f) + (2 \cdot \pi \cdot r) + 2 \cdot (b_f - t_w - 2 \cdot r) + 2 \cdot (d - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r - t_w) + \\
 &= (2 \times t_f) + (2 \times 600) + (2 \times 3,14 \times 6,3) + 2 \times (600 - 18 - \\
 &\quad 2 \times 6,3) + 2 \times (700 - 2 \times 34 - 2 \times 6,3 - 18) + (2 \times 18) \\
 &= 3617,164 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol las terhadap tegangan tarik

$$L_w = \frac{V_u}{\phi R_{nw}} = \frac{289264,80}{1741,5367} = 166,09745 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 L_w &> l_{min} \\
 166,0974508 \text{ mm} &> 44 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Panjang las yang digunakan} = 166,1 \text{ mm}$$

c) Pelat Ujung (End Plate)

Menurut AISC hal 10-25 perencanaan tebal pelat ujung sebagai berikut :

$$t_{min} = \sqrt{\frac{4 \times M_{eu}}{\phi \times F_y \times b_p}}$$

$$C_a = 1,36 \quad (\text{AISC Tabel 10-1})$$

$$b_p = b_f + 25,4 \text{ mm} = 600 + 25,4 = 625,4 \text{ mm}$$

$$C_b = \sqrt{\frac{b_f}{b_p}} = \sqrt{\frac{600}{625,4}} = 0,9794825$$

$$db = \text{dimensi baut} = 30 \text{ mm}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$pf = \text{jarak pusat ke tepi} - tf$$

$$= 150 - 18$$

$$= 132 \text{ mm}$$

$$pe = pf - \frac{db}{4} - \text{Lebar kaki las}$$

$$= 132 - (30/4) - 6$$

$$= 118,5 \text{ mm}$$

Luas sayap pada balok tarik (A_f)

$$A_f = bf \times tf$$

$$= 600 \times 34$$

$$= 20400 \text{ mm}^2$$

Luas bersih (A_w)

$$A_w = (h - 2tf) \times tw$$

$$= (700 - 2 \times 34) \times 18$$

$$= 11376 \text{ mm}^2$$

$$am = Ca \times Cb \left(\frac{A_f}{A_w} \right)^{1/3} \times \left(\frac{pe}{db} \right)^{1/3}$$

$$am = 1,36 \times 0,97948 \left(\frac{20400}{11376} \right)^{1/3} \times \left(\frac{118,5}{30} \right)^{1/3}$$

$$= 1,04840637$$

Gaya terfaktor pada sayap (P_{uf})

$$P_{uf} = \frac{Mu}{h - tf}$$

$$= \frac{1664467000}{700 - 34}$$

$$= 2499199,7 \text{ N}$$

Momen Pelat Ujung (M_{eu})

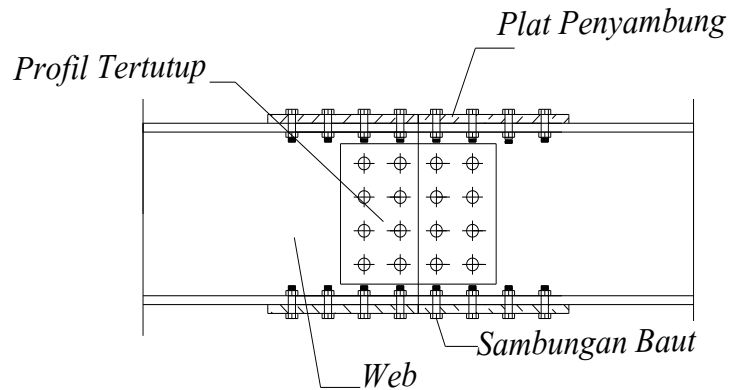
$$\begin{aligned} M_{eu} &= a_m \times p_{uf} \times \frac{pe}{4} \\ &= 1,04840637 \times 2499199,7 \times \frac{118,5}{4} \\ &= 77622740,25 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Tebal Pelat Ujung Minimum (t_{min})

$$\begin{aligned} t_{min} &= \sqrt{\frac{4 \times M_{eu}}{\phi \times F_y \times b_p}} \\ &= \sqrt{\frac{4 \times 77622740}{0,9 \times 290 \times 625,4}} \\ &= 43,61393667 \text{ mm} \sim 43 \text{ mm} \end{aligned}$$

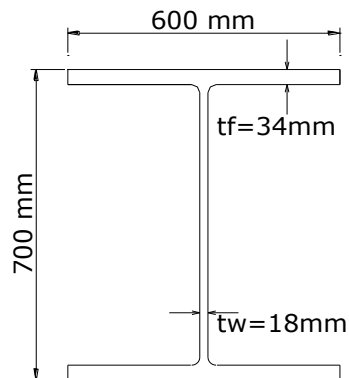
Jadi Tebal pelat yang digunakan untuk sambungan E adalah 43 mm.

4.7 Perhitungan Sambungan Balok - Balok E-F



Gambar 4. 21 Skema Sambungan Balok-balok

Data Profil balok baja WF 700.600.18.34



Data Material

Mutu Baja : BJ50 ($f_y = 290\text{ Mpa}$)

: ($f_u = 500\text{ Mpa}$)

Tipe baut : A32 ($f_y = 290\text{ Mpa}$)

Tebal Plat : 18 mm

Didapat nilai gaya aksial tekan terfaktor (V_u) dan (M_u) dengan menggunakan program bantu Staad Pro 2008

$M_u = 1664,467\text{ kN.m}$

$V_u = 289,26\text{ kN}$

Perencanaan Spliced beam

Pelat sambungan flens

dimensi lubang baut (d) = 33 mm (SNI1729:2015 hal126)
kekuatan nominal pengencang A325 (SNI1729:2015 hal125)

F_{nt} (Kekuatan tarik nominal) = 620 Mpa

F_{nw} (Kekuatan geser nominal) = 372 Mpa

Tegangan tarik pelat = 290 Mpa
 $90\% \times \phi \times \mu$ = 90 % x 1664467000 Nmm
= 1498020300
 $F = M/(h+tf)$ = $\frac{1498020300}{700 + 34}$
= 2040899,591 N

Menghitung Tahanan Baut

Luas baut (A_b) = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2$
= $\frac{1}{4} \times \pi \times 30^2$
= 706,5 mm

Kekuatan Tarik dan Geser dari (SNI 1729:2015 hal 129)

Kuat nominal terhadap tarik :

R_n = $F_{nt} \times A_b$
= 620 x 706,5
= 438030 N

ϕR_n = 0,75 x 438030
= 328523 N

Kuat nominal terhadap geser baut (2 bidang geser)

R_n = $F_{nw} \times A_b \times m$
= 372 x 706,5 x 2
= 525636 N

ϕR_n = 0,75 x 525636
= 394227 N

Gaya tarik yang terjadi pada sayap

$$\begin{aligned}
 T_n &= M_u / h \\
 &= \frac{1664467000}{700} \\
 &= 2377810 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat nominal tumpu pada lubang-lubang baut:

(SNI 1729:2015, hal 132)

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2,4 \times d_b \times t \times f_u \\
 &= 2,4 \times 33 \times 34 \times 500 \\
 &= 1346400 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \times 1346400 \\
 &= 1009800 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\text{Diambil kontrol yang terkecil} = 394227 \text{ N}$$

Jumlah baut yang dipakai

$$\begin{aligned}
 n &= V_u / \phi R_n \\
 &= \frac{289264,80}{394227} \\
 &= 0,733751874 = 8 \text{ baut}
 \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan baut terhadap geser

$$\begin{aligned}
 V_{ub} &= \frac{V_u}{n} = \frac{289264,80}{8} \leq \phi R_n \\
 &= 36158,1 \leq 394227 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Sehingga jumlah baut memenuhi kuat geser perlu

Menghitung jarak baut

Jarak Tepi baut

Jarak tepi minimum (S_1) menurut tabel J3.4 (SNI 1729:2015)

untuk baut diameter 30 mm yakni 38 mm Jarak tepi

maksimum (S_{max}) menurut (SNI 1729:2015) pasal J3.5 adalah nilai terendah dari

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= 12 \times t_p \\
 &= 12 \times 18 \\
 &= 216 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Maka } S_1 \text{ digunakan jarak} = 98,2 \text{ mm}$$

Jarak antar baut S

Menurut SNI 1729:2015 pasal J3.3, jarak minimum baut adalah yang terendah dari :

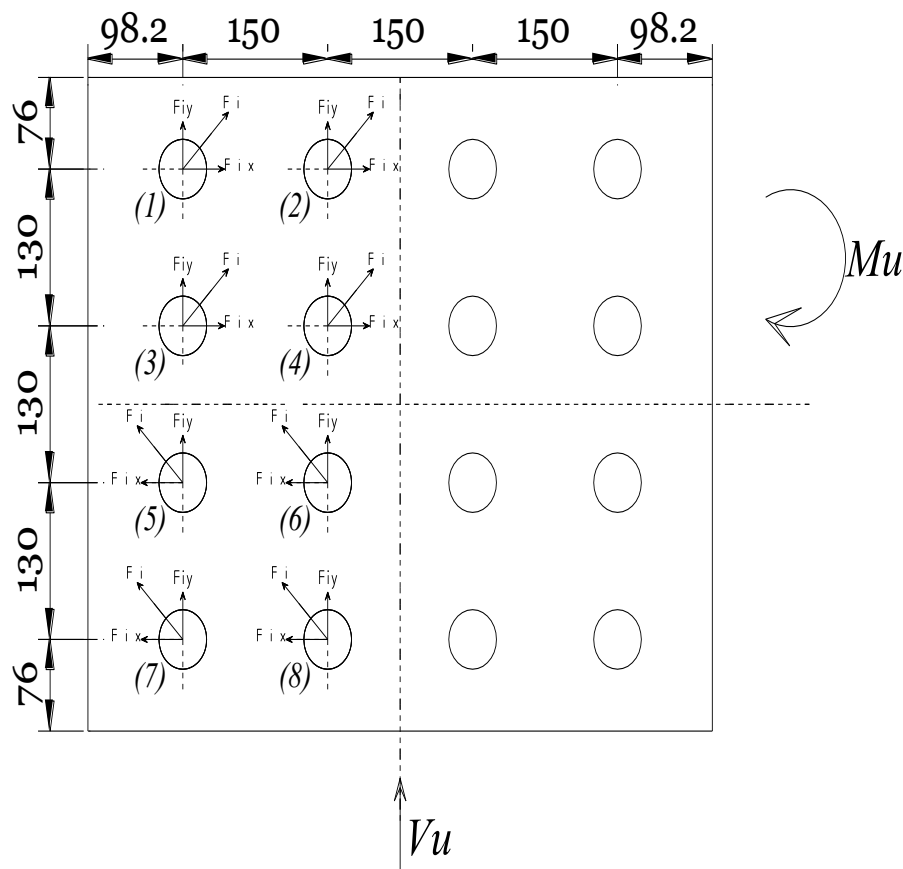
$$\begin{aligned} S_{\min} &= 3 \times d \\ &= 3 \times 38 \\ &= 114 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

Jarak antar baut S

Menurut SNI 1729:2015 pasal J3.5(a), jarak maksimum baut adalah yang terendah dari :

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 24 \times t_p \\ &= 24 \times 18 \\ &= 432 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

Maka S digunakan jarak = 150 mm



Gambar Jarak Antar Baut dan Gaya-gaya Pada Baut

Kontrol Pada arah sumbu global

Beban yang dipikul baut akibat gaya geser

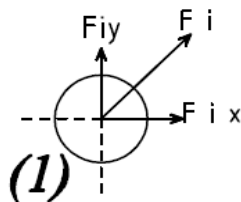
$$V_{ia} = V_u/n = \frac{289264,80}{8} = 36158,1 \text{ N}$$

Beban yang bekerja pada masing masing baut diperhatikan pada tabel dibawah ini :

Tabel Jarak Pada Baut

i	x_i (mm)	y_i (mm)	x_i^2 (mm ²)	y_i^2 (mm ²)
1	-225	76	50625	5776
2	-75	76	5625	5776
3	-225	206	50625	42436
4	-75	206	5625	42436
5	-98,2	65	9643,24	4225
6	-248,2	65	61603,24	4225
7	-98,2	-195	9643,24	38025
8	-248,2	-195	61603,24	38025
Σ			254992,96	180924
$\Sigma x_i^2 + \Sigma y_i^2$			435916,96	

Misalkan gaya yang bekerja pada baut no.1

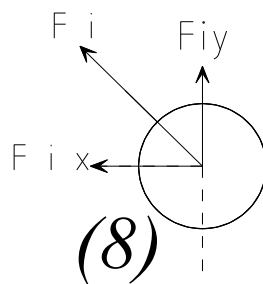


$$\begin{aligned} F_{1x} &= \frac{M_a \cdot Y_1}{\Sigma x_i^2 + \Sigma y_i^2} = \frac{1664467000 \times 76}{435916,96} \\ &= 290191,7191 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{1y} &= \frac{M_a \cdot x_1}{\Sigma x_i^2 + \Sigma y_i^2} = \frac{1664467000 \times -225}{435916,96} \\ &= -859120,221 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \sqrt{(V_{1a} + F_{1x})^2 + F_{1y}^2} \\
 &= \sqrt{(28926,48 + 127948,22)^2 + 378794,08^2} \\
 &= 409993,447 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

Misalkan gaya yang berkerja pada baut no 8



$$\begin{aligned}
 F_{8x} &= \frac{Ma. Y8}{\sum x_i^2 + \sum y_i^2} = \frac{1664467000 \quad x \quad -195}{435916,96} \\
 &= -744570,8582 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{8y} &= \frac{Ma. X8}{\sum x_i^2 + \sum y_i^2} = \frac{1664467000 \quad x \quad -248,2}{435916,96} \\
 &= -947705,0615 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_8 &= \sqrt{(V_{8a} + F_{8x})^2 + F_{8y}^2} \\
 &= \sqrt{(28926,48 - 505058,7795)^2 - 417851,9636^2} \\
 &= 228257,975 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

Untuk gaya selanjutnya ditabelkan sebagai berikut (*dibelakang*)

Tabel Gaya dan Jarak Pada Baut (Sumbu x-x)

i	$Ma . xi$ (Nmm^2)	$Ma . yi$ (Nmm^2)	Fix (N)	Fiy (N)	Via (N)	Fi (N)
1	-374505075000	126499492000	290191,719	-859120	36158,1	919016,73
2	-124835025000	126499492000	290191,719	-286373	36158,1	434181,91
3	-374505075000	342880202000	786572,291	-859120	36158,1	1189526,3
4	-124835025000	342880202000	786572,291	-286373	36158,1	871145,81
5	-163450659400	-108190355000	-248190,286	-374958	36158,1	430756,7
6	-413120709400	-108190355000	-248190,286	-947705	36158,1	971134,66
7	-163450659400	-324571065000	-744570,858	-374958	36158,1	801525
8	-413120709400	-324571065000	-744570,858	-947705	36158,1	1183213,2

4.9. Perhitungan Pelat Dasar (*Base Plate*)

4.9.1 Data Perencanaan profil WF

Balok WF

Tinggi balok (d) = 700 mm

Lebar balok (b) = 600 mm

Tebal web (t_w) = 18 mm

Tebal flange (t_f) = 34 mm

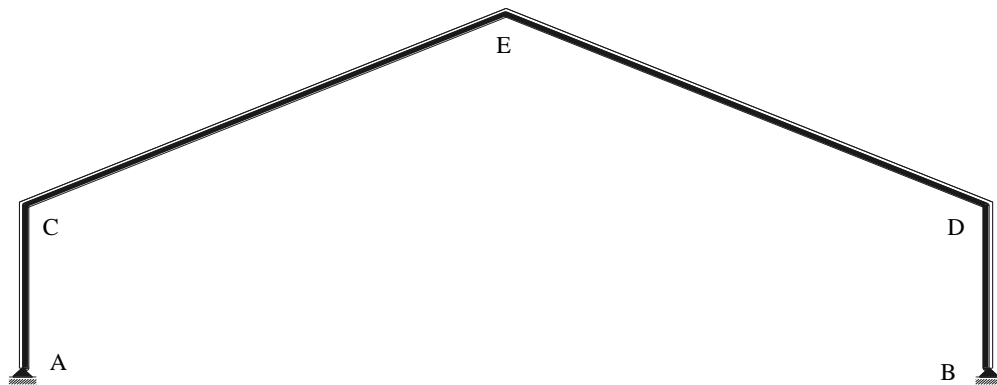
Kolom WF

Tinggi kolom (d) = 700 mm

Lebar kolom (b) = 600 mm

Tebal web (t_w) = 18 mm

Tebal flange (t_f) = 34 mm



Gambar 4.22. Penamaan sambungan

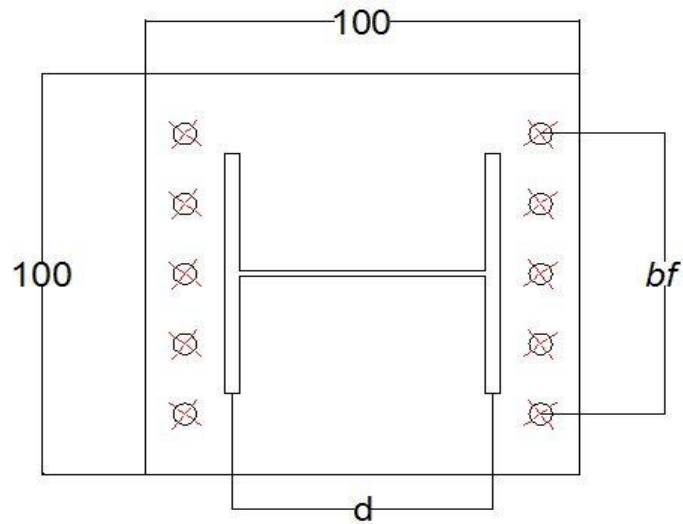
Sambungan C = Sambungan D (Rafter kolom balok)

Sambungan E (Rafter balok balok)

Sambungan A = Sambungan B (Base plate)

4.9.2. Perhitungan sambungan Pelat Dasar

$$\begin{aligned}
 \text{Pondasi beton} &= 100 \times 100 \text{ cm} \\
 f_c' &= 25 \text{ Mpa} \\
 P_u &= 16881,12 \text{ kg} \\
 V_u &= 3015,902 \text{ kg} \\
 f_y &= 2400 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 4.23. Penamaan pelat dasar dan notasi

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{(N - 0,95.d)}{2} & n &= \frac{(B - 0,8.bf)}{2} \\
 &= \frac{100 - 0,95 \times 70}{2} & &= \frac{100 - 0,80 \times 60}{2} \\
 &= 16,75 \text{ cm} & &= 26,00 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x &= f - \frac{d}{2} + \frac{tf}{2} \\
 &= 42,50 - \frac{70}{2} + \frac{3,4}{2} \\
 &= 5,80 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$P_u \leq \phi_c \cdot P_p$$

$$\begin{aligned} A_1 &= B \cdot N \\ &= 100 \cdot 100 \\ &= 10000 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_p &= 0,85 \cdot f_c \cdot A_1 \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 10000 \cdot \sqrt{\frac{10000}{10000}} \\ &= 212500 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_u \leq \phi_c \cdot P_p$$

$$\begin{aligned} 16.881,121 &\leq 0,6 \cdot 212.500 \\ 16.881,121 &\leq 127.500,000 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Untuk angkur tipe A307 : $n = 10$ Buah angkur

Diameter baut = 3/4" = 1,91 cm

$$\begin{aligned} A_b &= 1/4 \cdot 3,14 \cdot 1,91^2 \\ &= 2,865 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$F_v = 166 \text{ Mpa}$$

$$f_v = \frac{V_{ub}}{A_b}$$

$$\begin{aligned} V_{ub} &= \frac{V_u}{n} = \frac{3015,902}{10} \\ &= 301,590 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$f_v = \frac{301,590}{2,865} = 105,259$$

$$\begin{aligned}\phi F_v \cdot A_b &= 0,75 \times 1660 \times 2,865 \\ &= 3567,188 \quad \text{kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{ub} &\leq \phi \cdot F_v \cdot A_b \\ 3.567,188 \text{ kg} &\geq 301,590 \text{ kg} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Perehitungan tebal plat dasar :

$$\begin{aligned}t_{perlu} &\geq 1,49 \cdot c \cdot \sqrt{\frac{P_u}{B \cdot N \cdot f_y}} \\ &= B \times N \times f_y \\ &= 100 \times 100 \times 2400 \\ &= 24.000.000,00 \\ &= 1,49 \times 26,0 \sqrt{\frac{16.881,1}{24.000.000,0}} \\ &= 1,027 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\text{Dipakai tebal} = 1,00 \text{ cm}$$

Desain panjang angkur minimum yang diperlukan :

$$\begin{aligned}L_{\min} &= \frac{f_y}{(4 \cdot \sqrt{f_c'})} \times d_b \\ &= \frac{240}{(4 \cdot \sqrt{25})} \times 19,100 \\ &= 228,600 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Maka dipasang panjang angkur } L = 300 \text{ mm}$$

4.8 Data Perencanaan Rangka Balok

Bentang Kuda – Kuda	: 60.00 meter
Jenis Atap	: Spandek Doff (Solid Colour)
Berat Atap	: 0.0444 kN/m ²
Jarak antara kuda – kuda	: 8.572 m
Jarak antara medan	: 5 medan
Profil Kolom direncanakan	: WF 700.600.18.36
Profil Balok direncanakan	: T 400.300
	: \angle L 130.130.9
Profil Gording direncanakan	: C 150.65.20.3.2
Tinggi Kolom	: 15.00 m
Kemiringan atap	: 10,5°
Jenis Bangunan	: Hanggar Pesawat
Mutu Baja T BJ 50	: $f_u = 500$ MPa
	$f_y = 290$ Mpa
Mutu Baja Double Angel BJ 37	: $f_u = 370$ MPa
	$f_y = 240$ MPa

4.9 Pembebanan Metode Load and Resistance Factor Design (LRFD)

4.9.1 Beban Mati (D)

Beban gording tepi C 150.65.20.3.2 = 0.0450 kN/m

Beban atap : berat gording x luas bidang atap

$$: 0.0450 \times 1.75 \times 1.00 = 0.07875 \text{ kN/m}$$

Berat gording : $0.0450 \times 1.00 = 0.0450 \text{ kN/m} +$

$$D = 0.12375 \text{ kN/m}$$

Beban alat Penyambung 10%D = 0.012375 kN/m +

Total beban mati $D_{\text{total}} = 0.13613 \text{ kN/m}$

- Penguraian Beban

Beban Mati (D)

$$D_x = D_{\text{total}} \times \cos \alpha$$

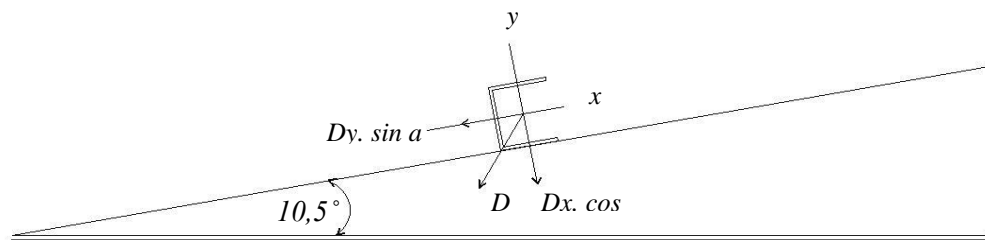
$$D_y = D_{\text{total}} \times \sin \alpha$$

$$= 0.13613 \times \cos 10.5^\circ$$

$$= 0.13613 \times \sin 10.5^\circ$$

$$= 0.13385 \text{ kN/m}$$

$$= 0.02481 \text{ kN/m}$$



Gambar 4.22 Skema pembebanan pada gording akibat beban mati

4.9.2 Beban Hidup Atap (L_r)

Menurut SNI 1727 – 2013 tabel 4 – 1 pendistribusian beban hal 27

untuk atap berbubung beban hidup atap (L_o) sebesar : 0.89 kN

$$L_r = L_o \times R_1 \times R_2 \quad \text{dimana } 0.58 \leq L_r \leq 0.89$$

- Faktor reduksi R_1 dan R_2 harus ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Luas Tributari (AT)} = 8.572 \times 1.75 = 15.001 \text{ m}^2$$

$$= 1 \quad \text{untuk } AT \leq 18.58 \text{ m}^2$$

$$R_1 = 1.2 - 0.001 AT \quad \text{untuk } 18.58 \text{ m}^2 \leq AT \leq 55.74 \text{ m}^2$$

$$= 0.6 \quad \text{untuk } AT \geq 55.74 \text{ m}^2$$

- Jumlah peninggian (F)

$$F = 0.12 \times \alpha$$

$$= 0.12 \times 10.5^\circ = 1.260$$

$$= 1 \quad \text{untuk } F \leq 4$$

$$R_2 = 1.2 - 0.05 F \quad \text{untuk } 4 \leq F \leq 12$$

$$= 0.6 \quad \text{untuk } F \geq 12$$

$$L_r = L_o \cdot R_1 \cdot R_2 \quad \text{dimana } 0.58 \leq L_r \leq 0.96$$

$$= 0.89 \cdot 1 \cdot 1$$

$$= 0.89 \text{ kN}$$

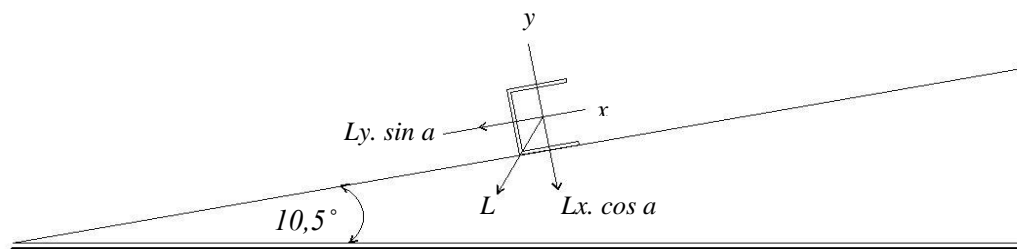
- Penguraian Beban

Beban Hidup (L_r)

$$L_{rx} = L_r \times \cos \alpha \quad L_{ry} = L_r \times \sin \alpha$$

$$= 0.89 \times \cos 10.5^\circ \quad = 0.89 \times \sin 10.5^\circ$$

$$= 0.8751 \text{ kN} \quad = 0.1633 \text{ kN}$$



Gambar 4.13 Skema pembebanan pada gording akibat beban hidup

4.9.3 Beban Angin (W)

Menurut SNI 1727 – 2013 hal 64, untuk menentukan beban angina SPBAU (sistem penahan beban angin utama) harus memenuhi langkah – langkah sebagai berikut :

Langkah 1 : Menentukan kategori resiko bangunan gedung atau struktur lain

Kategori resiko 3 : Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan resiko besar bagi kehidupan manusia.

Langkah 2 : Tentukan kecepatan angin dasar V, untuk kategori resiko yang sesuai diambil V, sebesar ;

$$40 \text{ km/jam} = 11.11 \text{ m/s}$$

Langkah 3 : Tentukan parameter beban angina :

1. Faktor arah angin , Kd

Tabel 26.6-1 - Faktor Arah Angin, K_d

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K _d *
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

* Faktor arah K_d telah dikalibrasi dengan kombinasi beban yang ditetapkan dalam Pasal 2. Faktor ini hanya diterapkan bila digunakan sesuai dengan kombinasi beban yang disyaratkan dalam Pasal 2.3 dan Pasal 2.4.

- Sistem penahan beban angin bangunan gedung : 0.85 (SNI 1727-2013)

2. Kategori eksposur

26.7.3 Kategori Eksposur

Eksposur B: Untuk bangunan gedung dengan tinggi rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bila kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku di arah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500 ft (457 m). Untuk bangunan dengan tinggi rata-rata lebih besar dari 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bila kekasaran permukaan B berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.

- Eksposur B : daerah perkotaan dan pinggiran kota (SNI 1727-2013)

3. Faktor topografi, K_z

26.8.2 Faktor Topografi

Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_z :

$$K_z = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (26.8-1)$$

di mana K_1 , K_2 , dan K_3 diberikan dalam Gambar 26.8-1.

Jika kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam Pasal 26.8.1, $K_z = 1,0$.

- Diambil $K_z = 1.0$ (SNI 1727-2013, hal 54)

4. Tentukan Faktor efek tiupan angin (G)

- Diambil : 0.85 (SNI 1727-2013, hal 51)

5. Klarifikasi ketertutupan

Klasifikasi Ketertutupan	(GC _{pi})
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

- Merupakan, jenis bangunan gedung tertutup maka koefisien tekanan internal diambil :

$$GC_{pi} = 0.18 \quad (\text{SNI 1727-2013, hal 61})$$

Langkah 4 : Tentukan eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h

Tinggi rata-rata (h) : 20.56

Tinggi elevasi (z) : 15.5

Koefisien eksposur Tekanan Velositas untuk angin pergi :

Tinggi (z)	Velositas (K _z)
Z1 : 12.2	: 0.76
Z2 : 15.5	: 0.81

$$K_z = 0.76 + \frac{15 - 12.2}{15.5 - 12.2} \times 0.81 - 0.76 = 1.27$$

Tinggi (z)	Velositas (K _z)
Z1 : 18	: 0.85
Z2 : 21.3	: 0.89

$$K_z = 0.85 + \frac{20.56 - 18}{21.3 - 18} \times 0.89 - 0.85 = 0.9$$

Langkah 5 : Tentukan tekanan velositas, q atau qh

Tekanan Angin tekan pada atap

$$\begin{aligned} qh &= 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \\ &= 0.613 \times 1.27 \times 1 \times 0.85 \times 11.11^2 \\ &= 81.466 \text{ N/m}^2 \\ &= 0.081466 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Tekanan Angin hisap pada atap

$$\begin{aligned} qh &= 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \\ &= 0.613 \times 0.9 \times 1 \times 0.85 \times 11.11^2 \\ &= 57 \text{ N/m}^2 \\ &= 0.057 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Langkah 6 : Tentukan koefisien tekan external,

Merujuk pada SNI 1721:2013, gambar 27.4-1 (lanjutan), halaman 68 untuk arah angin yang tegak lurus terhadap bubungan dengan sudut kemiringan atap $\geq 10^\circ$ dan nilai dari tinggi atap dibagi dimensi horizontal bangunan $(h/L) \leq 0,5$ maka koefisien tekanan atap (C_p) diisi angina datang pergi didapat dengan interpolasi. Karna sudut portal sebesar $10,5^\circ$ maka ;

Sudut	Tegak Lurus terhadap bubungan untuk $\geq 10^\circ$	
	Angin Datang	Angin Pergi
10	-0.9	-0.5
15	-0.7	-0.5

Koefisien tekanan atap disisi angin tekan

$$= -0.9 + \frac{10.5 - 10}{15 - 10} \times -1 - (-0.9) = -0.88$$

Koefisien tekanan atap disisi angina hisap = -0.5

Langkah 7 : Menghitung tekanan angin, P pada atap :

- **Tekanan angin tekan pada atap**

$$\begin{aligned} P_{\text{tekan}} &= qh \times G \times C_p - qh \times C_{pi} \\ &= 81.466 \times 0.85 \times 0.88 - 81.466 \times 0.18 \end{aligned}$$

$$= 46.2727 \text{ N/m}^2$$

$$= 0.0462727 \text{ kN/m}^2$$

- **Tekanan angin hisap pada atap :**

$$P_{\text{hisap}} = q_h \times G \times C_p - q_h \times C_{pi}$$

$$= 57 \times 0.85 \times 0.5 - 57 \times 0.18$$

$$= 13.965 \text{ N/m}^2$$

$$= 0.013965 \text{ kN/m}^2$$

- **Beban angin pada gording :**

$$W_{\text{tekan}} = P \times \text{jarak antara gording} \times \text{luas bidang atap}$$

$$= 0.0462727 \times 1.75 \times 1$$

$$= 0.08098 \text{ kN/m}$$

$$W_{\text{hisap}} = P \times \text{jarak antara gording} \times \text{luas bidang atap}$$

$$= 0.013965 \times 1.75 \times 1$$

$$= 0.02444 \text{ kN/m}$$

Angin Tekan

$$W_x = W_{\text{tekan}} \times \cos \alpha$$

$$= 0.07962 \text{ kN/m}$$

$$W_y = W_{\text{tekan}} \times \sin \alpha$$

$$= 0.01406 \text{ kN/m}$$

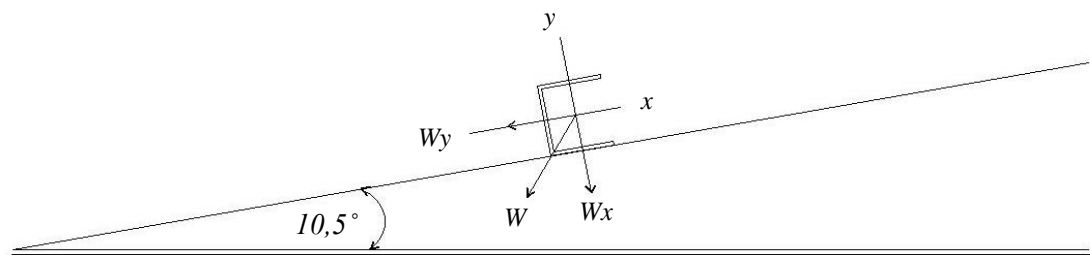
Angin hisap

$$W_x = W_{\text{hisap}} \times \cos \alpha$$

$$= 0.02403 \text{ kN/m}$$

$$W_y = W_{\text{hisap}} \times \sin \alpha$$

$$= 0.00445 \text{ kN/m}$$



Gambar 4.24 Skema pembebanan pada gording untuk beban angina

4.9.4 Beban Hujan (R)

Menurut SNI 1727 – 2013 hal 38, perencanaan beban hujan rencana sebagai berikut : $d_s = 5 \text{ mm}$

$$d_h = 5 \text{ mm}$$

$$R = 0.0098 \times (d_s + d_h)$$

$$= 0.0098 \times (10)$$

$$= 0.098 \text{ kN/m}^2$$

- Beban hujan pada gording

$$R = 0.098 \times \text{jarak gording} \times \text{luas bidang atap}$$

$$= 0.147 \times 1.75 \times 1$$

$$= 0.1715 \text{ kN/m}$$

$$R_x = R \times \cos \alpha$$

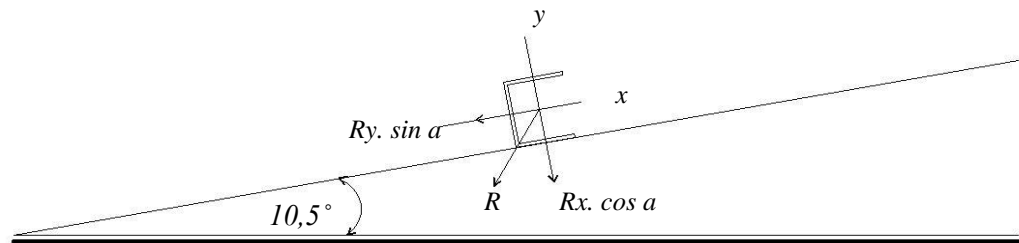
$$= 0.1715 \times \cos 10.5^\circ$$

$$= 0.16863 \text{ kN/m}$$

$$R_y = R \times \sin \alpha$$

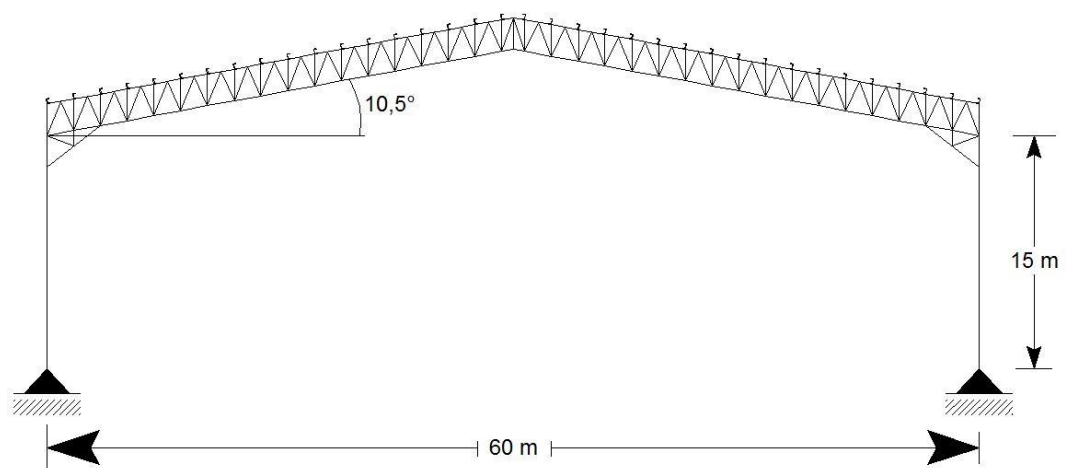
$$= 0.1715 \times \sin 10.5^\circ$$

$$= 0.03125 \text{ kN/m}$$



Gambar 4.1 Skema pembebanan pada gording akibat beban hujan

4.10 Pembebanan pada kuda – kuda



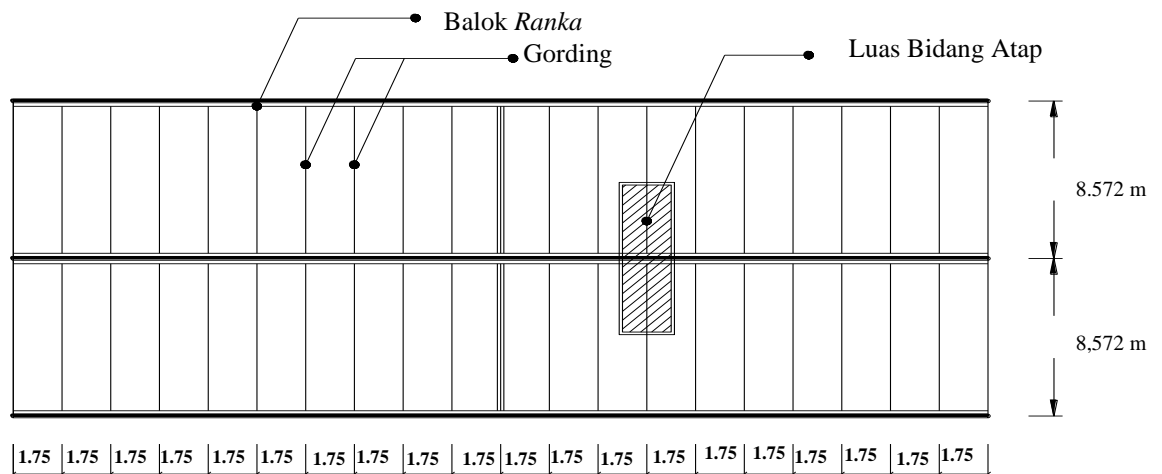
Gambar 4.25 Struktur Portal Gable Frame

- Panjang balok kuda – kuda :

$$\text{Panjang balok} = \frac{60/2}{\cos 10.5^\circ} = \frac{60}{\cos 10.5^\circ} = 30.501 \text{ m}$$

Jarak antara gording :

$$I = \frac{30.5011}{17} = 1.75 \text{ m}$$



Gambar 4.26 Denah atap kuda – kuda

1

4.10.1 Beban Mati (D)

- **Beban gording Tepi (D3)**

Beban atap : berat penutup atap x luas bidang atap

$$: 0.0444 \times (\frac{1}{2} \times 1.75) \times 8.572 = 0.33302 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} : 0.0450 \times 8.572 = 0.38574 \text{ kN}$$

$$D = 0.71876 \text{ kN}$$

$$\text{Beban alat penyambung 10\% D} = 0.07187 \text{ kN} +$$

$$\text{Total beban mati} \quad \quad \quad \mathbf{D3} = \mathbf{0.79064 \text{ kN}}$$

- **Beban gording tengah (D2)**

Beban atap : berat penutup atap x luas bidang atap

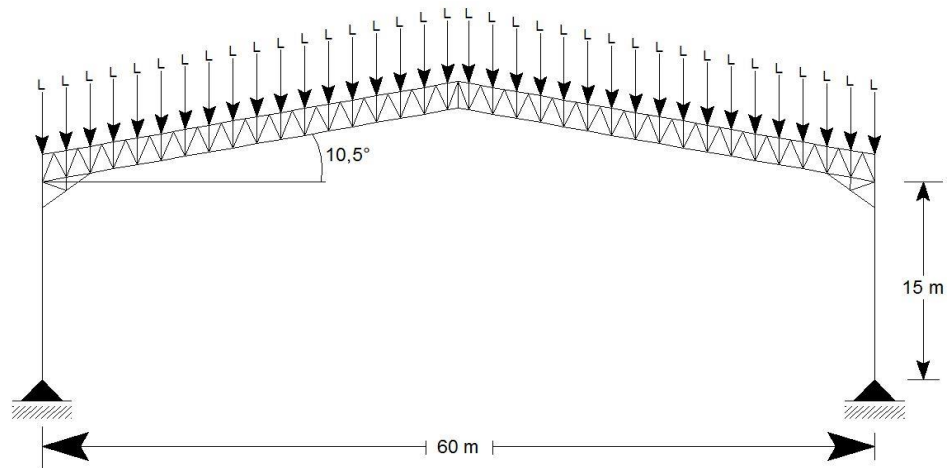
$$: 0.0444 \times 1.75 \times 8.572 = 0.66604 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} : 0.0450 \times 8.572 = 0.38574 \text{ kN} +$$

$$D = 1.05178 \text{ kN}$$

$$\text{Beban alat penyambung 10\% D} = 0.10518 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 R2 &= 1.2 - 0.05 F && \text{untuk } 4 \leq F \leq 12 \\
 &= 0.6 && \text{untuk } F \geq 12 \\
 Lr &= L_o \times R1 \times R2 && \text{dimana } 0.58 \leq Lr \leq 0.89 \\
 &= 0.89 \times 1 \times 1 \\
 &= 0.89 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.28 Skema pembebanan untuk beban hidup

4.10.3 Beban Angin (W)

Menurut SNI 1727 – 2013 hal 64, untuk menentukan beban angina SPBAU (sistem penahan beban angin utama) harus memenuhi langkah – langkah sebagai berikut :

Langkah 1 : Menentukan kategori resiko bangunan gedung atau struktur lain

Kategori resiko 3 : Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan resiko besar bagi kehidupan manusia.

Langkah 2 : Tentukan kecepatan angin dasar V , untuk kategori resiko yang sesuai diambil V , sebesar ;

$$40 \text{ km/jam} = 11.11 \text{ m/s}$$

Langkah 3 : Tentukan parameter beban angina :

6. Faktor arah angin , K_d

Tabel 26.6-1 - Faktor Arah Angin, K_d

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d^*
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

* Faktor arah K_d telah dikalibrasi dengan kombinasi beban yang ditetapkan dalam Pasal 2. Faktor ini hanya diterapkan bila digunakan sesuai dengan kombinasi beban yang disyaratkan dalam Pasal 2.3 dan Pasal 2.4.

- Sistem penahan beban angin bangunan gedung : 0.85 (SNI 1727-2013)

7. Kategori eksposur

26.7.3 Kategori Eksposur

Eksposur B: Untuk bangunan gedung dengan tinggi rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bila mana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku di arah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500 ft (457 m). Untuk bangunan dengan tinggi rata-rata lebih besar dari 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bila mana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.

- Eksposur B : daerah perkotaan dan pinggiran kota (SNI 1727-2013)

8. Faktor topografi, K_z

26.8.2 Faktor Topografi

Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_z :

$$K_z = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (26.8-1)$$

di mana K_1 , K_2 , dan K_3 diberikan dalam Gambar 26.8-1.

Jika kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam Pasal 26.8.1, $K_z = 1,0$.

- Diambil $K_z = 1.0$ (SNI 1727-2013, hal 54)

9. Tentukan Faktor efek tiupan angin (G)

- Diambil : 0.85 (SNI 1727-2013, hal 51)

10. Klarifikasi ketertutupan

Klasifikasi Ketertutupan	(GC_{pi})
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

- Merupakan, jenis bangunan gedung tertutup maka koefisien tekanan internal diambil :
 $GC_{pi} = 0.18$ (SNI 1727-2013, hal 61)

Langkah 4 : Tentukan eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h

Tinggi rata-rata (h) : 20.56

Tinggi elevasi (z) : 15.5

Koefisien eksposur Tekanan Velositas untuk angin pergi :

Tinggi (z)	Velositas (Kz)
Z1 : 12.2	: 0.76
Z2 : 15.5	: 0.81

$$K_z = 0.76 + \frac{15 - 12.2}{15.5 - 12.2} \times 0.81 - 0.76 = 1.27$$

Tinggi (z)	Velositas (Kz)
Z1 : 18	: 0.85
Z2 : 21.3	: 0.89

$$K_z = 0.85 + \frac{20.56 - 18}{21.3 - 18} \times 0.89 - 0.85 = 0.9$$

Langkah 5 : Tentukan tekanan velositas, *q* atau *qh*

Tekanan Angin tekan pada atap

$$\begin{aligned} q_h &= 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \\ &= 0.613 \times 1.27 \times 1 \times 0.85 \times 11.11^2 \\ &= 81.466 \text{ N/m}^2 \\ &= 0.081466 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Tekanan Angin hisap pada atap

$$\begin{aligned} q_h &= 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \\ &= 0.613 \times 0.9 \times 1 \times 0.85 \times 11.11^2 \\ &= 57 \text{ N/m}^2 \\ &= 0.057 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Langkah 6 : Tentukan koefisien tekan external,

Merujuk pada SNI 1721:2013, gambar 27.4-1 (lanjutan), halaman 68 untuk arah angin yang tegak lurus terhadap bubungan dengan sudut kemiringan atap $\geq 10^\circ$ dan nilai dari tinggi atap dibagi dimensi horizontal bangunan $(h/L) \leq 0,5$ maka koefisien tekanan atap (C_p) diisi angina datang pergi didapat dengan interpolasi. Karna sudut portal sebesar $10,5^\circ$ maka ;

Sudut	Tegak Lurus terhadap bubungan untuk $\geq 10^\circ$	
	Angin Datang	Angin Pergi
10	-0.9	-0.5
15	-0.7	-0.5

Koefisien tekanan atap disisi angin tekan

$$= -0.9 + \frac{10.5 - 10}{15 - 10} \times -1 - (-0.9) = -0.88$$

Koefisien tekanan atap disisi angina hisap = -0.5

Langkah 7 : Menghitung tekanan angin, P pada atap :

- **Tekanan angin tekan pada atap**

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tekan}} &= q_h \times G \times C_p - q_h \times C_{pi} \\
 &= 81.466 \times 0.85 \times 0.88 - 81.466 \times 0.18 \\
 &= 46.2727 \text{ N/m}^2 \\
 &= 0.0462727 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

- **Tekanan angin hisap pada atap :**

$$\begin{aligned}
 P_{\text{hisap}} &= q_h \times G \times C_p - q_h \times C_{pi} \\
 &= 57 \times 0.85 \times 0.5 - 57 \times 0.18 \\
 &= 13.965 \text{ N/m}^2 \\
 &= 0.013965 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

• **Beban Angin Pada Kuda – kuda**

Beban angin tekan pada kuda – kuda

$$\begin{aligned}
 W_{\text{tepi}} (W3) &= P \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal} \\
 &= 0.0462727 \times \left(\frac{1}{2} \times 1,75\right) \times 8.572 \\
 &= 0.34707 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{\text{tengah}} (W2) &= P \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal} \\
 &= 0.0462727 \times 1,75 \times 8.572 \\
 &= 0.69414 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$W_{\text{puncak}} (W1) = P \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal}$$

$$= 0.0462727 \times (\frac{1}{2} \times 1.75 \times 8.572)$$

$$= 0.34707 \text{ kN}$$

- Beban angin hisap pada kuda – kuda

$$W \text{ tepi } (W3) = P \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal}$$

$$= 0.013965 \times (\frac{1}{2} \times 1.75) \times 8.572$$

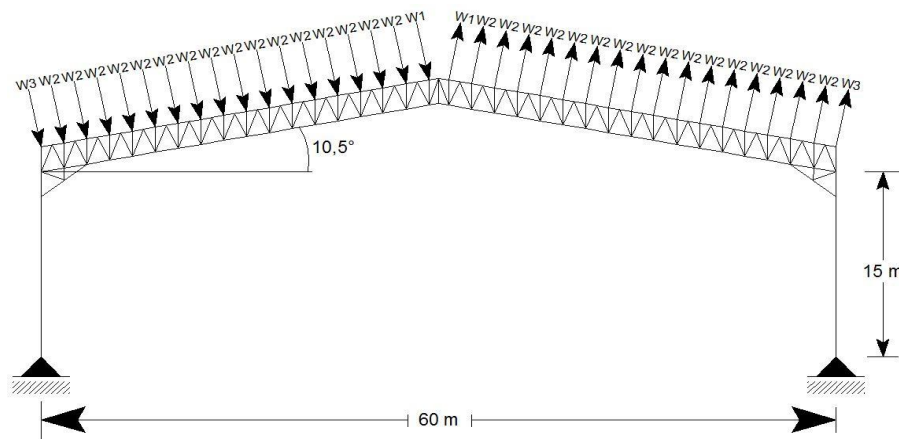
$$= 0.10474 \text{ kN}$$

- W tengah (W2) = $P \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal}$
$$= 0.013965 \times 1.75 \times 8.572$$

$$= 0.20949 \text{ kN}$$

- W puncak (W1) = $P \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal}$
$$= 0.013965 \times (\frac{1}{2} \times 1.75) \times 8.572$$

$$= 0.10474 \text{ kN}$$



Gambar 4.29 Skema pembebanan pada kuda – kuda akibat angin

4.10.4 Beban Hujan (R)

Menurut SNI 1727 – 2013 hal 38, perencanaan beban hujan rencana sebagai berikut :

$$ds = 5 \text{ mm}$$

$$dh = 5 \text{ mm}$$

$$R = 0.0098 \times (ds + dh)$$

$$= 0.0098 \times (10)$$

$$= 0.098 \text{ kN/m}^2$$

- Beban hujan pada kuda – kuda

$$R1 = 0.098 \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal}$$

$$= 0.098 \times \left(\frac{1}{2} \times 1,75 \right) \times 8.572$$

$$= 0.73505 \text{ kN}$$

$$R2 = 0.098 \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal}$$

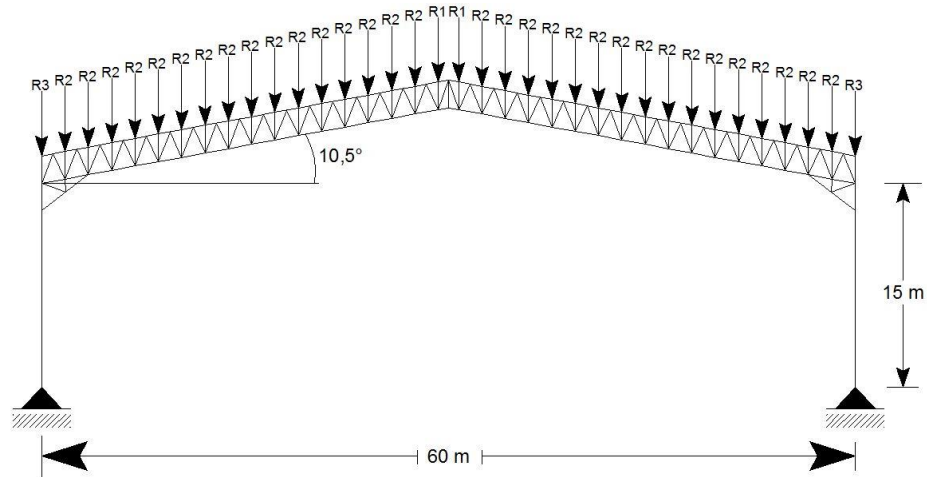
$$= 0.098 \times 1.75 \times 8.572$$

$$= 1.4701 \text{ kN}$$

$$R3 = 0.098 \times \text{jarak antara gording} \times \text{jarak antara portal}$$

$$= 0.098 \times \left(\frac{1}{2} \times 1,75 \right) \times 8.572$$

$$= 0.73505 \text{ kN}$$



Gambar 4.30 Skema pembebanan akibat air hujan

4.11 Kombinasi Pembebanan

Adapun spesifikasi kombinasi pembebanan (SNI 03 – 1727 – 2013)

1. $1.4 D$
2. $1.2 D + 1.6 Lr + 0.5 R$
3. $1.2 D + 1.6 R + 0.5 W$
4. $1.2 D + 1.0 W + 0.5 R$
5. $1.2 D$
6. $0.9 D + 1.0 W$

Dimana :

D = Beban mati (beban gaya berat dari elemen – elemen struktur)

La = Beban hidup atap

W = Beban angin

R = Beban air hujan

Tabel 4.5 Pembebanan Pada Gording.

Type	D	L	R	W	
Arah	(kN/m)	(kN)	(kN/m)	(kN/m)	
				Tekan	Hisap
X	0,13385	0,8751	0,16863	0,07962	0,02403
Y	0,02481	0,1633	0,03125	0,01406	0,00445

Didapat nilai M_{uy} dan M_{ux} dengan menggunakan program bantu staadPro 2008

V8i Bentley sebesar

M_{ux} : 15.900 kN.mm

M_{uy} : 1.195 kNmm

▪ Dicoba Profil : C: 150.65.20.3.2

H = 150 mm

A = 65 mm

C = 20 mm

t = 3.2 mm

I_x = 332 cm⁴

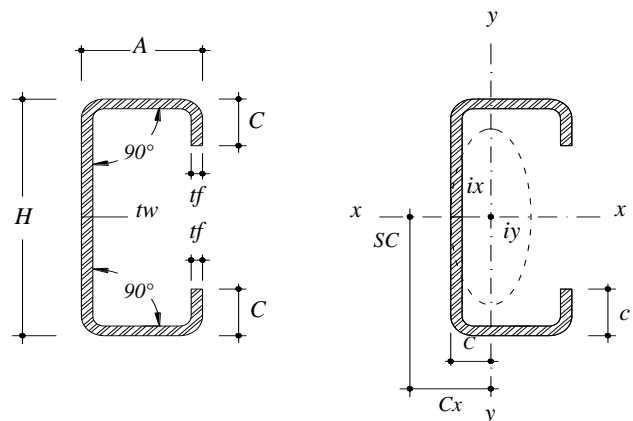
I_y = 54 cm⁴

i_x = 5,89 cm²

i_y = 2,37 cm²

Z_x = 44,3 cm³

Z_y = 12,2 cm³



Gambar 4.31 Profil Liped Channel.

▪ Kontrol Momen

$$\phi b \cdot M_n = \phi b \cdot M_p$$

$$Z_x \text{ perlu} = \frac{M_{ux}}{\phi b \cdot f_y} = \frac{15900}{0.9 \times 290} = 60,92 \text{ mm}^3 = 6,092 \text{ cm}^3$$

$$Z_x \text{ perlu} = 6,092 \text{ cm}^3 < Z_x = 44,3 \text{ cm}^3 \dots\dots \text{OK}$$

$$\begin{aligned} M_{nx} &= Z_x \cdot f_y \\ &= 443 \times 290 \\ &= 128.470 \text{ kNmm} \end{aligned}$$

$$\phi b \cdot M_{nx} > M_{ux}$$

$$128.470 \text{ kNmm} > 15.900 \text{ kN.mm} \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$Z_y \text{ perlu} = \frac{M_{uy}}{\phi b \cdot f_y} = \frac{1.195}{0.9 \times 290} = 4,579 \text{ mm}^3 = 0,4579 \text{ cm}^3$$

$$Z_y \text{ perlu} = 0,4579 \text{ cm}^3 < Z_y = 12.2 \text{ cm}^3 \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$\begin{aligned} M_{ny} &= Z_y \cdot f_y \\ &= 122 \times 290 \\ &= 35.380 \text{ kNmm} \end{aligned}$$

$$\phi b \cdot M_{ny} > M_{uy}$$

$$35.380 \text{ kNmm} > 1.195 \text{ kNmm} \dots\dots\dots \text{OK}$$

▪ Kontrol puntir

$$\begin{aligned} &\frac{M_{ux}}{\phi b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi b \cdot M_{ny}} \\ &\frac{15.900}{0.9 \times 128.470} + \frac{1.195}{0.9 \times 35.380} = 0.175 < 1 \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Tabel 4.6 Batas lendutan Maksimum

Komponen Struktur dengan beban tidak terfaktor	Bab n Tetap	Bab an Sementar a
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	L/360	-
Balok biasa	L/240	-
Kolom dengan analisis ordo pertama saja	h/500	h/200
Kolom dengan analisis ordo kedua	h/300	h/200

(Sumber : SNI 03-1727-2002: Tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung, hal 15)

- Kontrol Lendutan

$$f_{ijin} = \frac{L}{240} = \frac{857.2}{240} = 3.572 \text{ cm}$$

$$f_x = \frac{5 \cdot M_x \cdot L^2}{48 \cdot E \cdot I_x} = \frac{5 \times 432 \times 857.2^2}{48 \times 2.10^4 \times 332} = 5.189 \text{ cm}$$

$$f_y = \frac{5 \cdot M_y \cdot L^2}{48 \cdot E \cdot I_y} = \frac{5 \times 18 \times 857.2^2}{48 \times 2.10^4 \times 54} = 1.329 \text{ cm}$$

$$f = \sqrt{5.189^2 + 1.329^2} = 5.356 \text{ cm} > 3.572 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{NO}$$

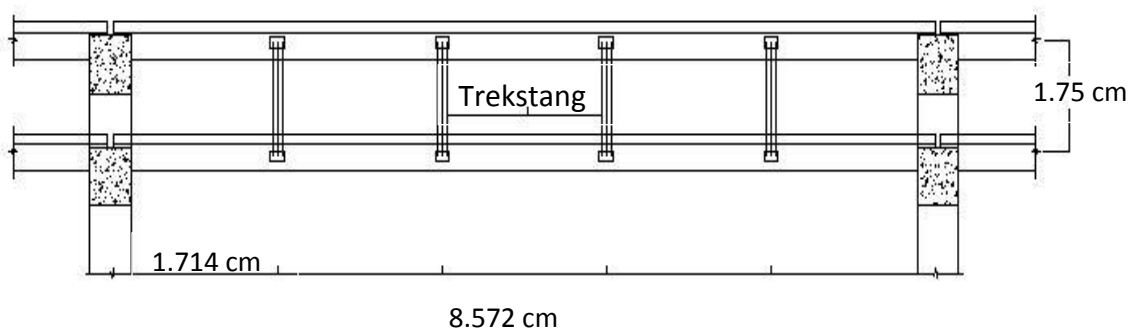
Lendutan tidak aman maka perlu dipasang trekstang pada arah sumbu lemah, sehingga dipasang 4 buah trekstang pada bentang gording sehingga:

$$L_x = 1/5 \times \text{Jarak kuda-kuda}$$

$$L_x = 1/5 \times 857.2 = 171.4 \text{ cm}$$

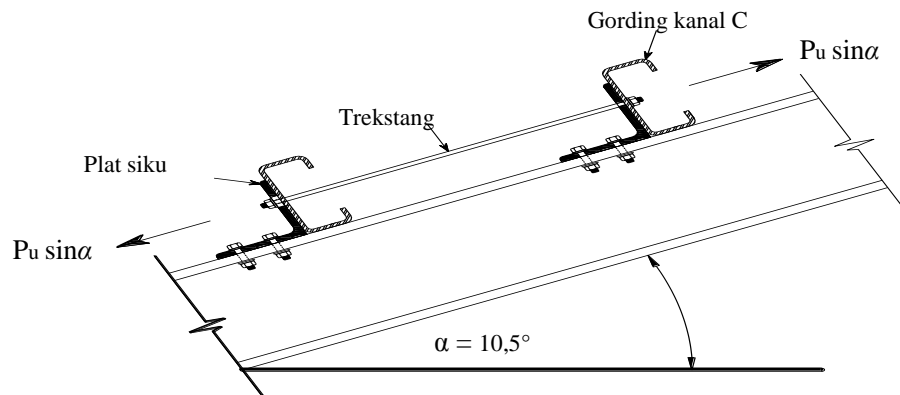
$$f_x = \frac{5 \cdot M_y \cdot L^2}{48 \cdot E \cdot I_x} = \frac{5 \times 432 \times 171.4^2}{48 \times 2.10^4 \times 54} = 0.199 \text{ cm}$$

$$f = \sqrt{0.199^2 + 1.329^2} = 1.344 \text{ cm} < 3.646 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{OK}$$



Gambar 4.32 Jarak antar trekstang pada gording (Ly).

- **Perencanaan Trekstang**



Gambar 4.11 Trekstang.

- Perhitungan Trekstang

$$\begin{aligned} P_u &= 1.2 D + 1.6 L \\ &= 1.2 \times 0.13385 + 1.6 \times 0.8751 = 1.561 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u \sin \alpha &= \frac{1.561}{\sin 10.5^\circ} \\ &= 8.565 \text{ kN} \\ &= 8565 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u = \phi f_y \cdot A_g \quad \text{untuk tegangan leleh } \phi = 0.9$$

$$A_g = \frac{P_u}{\phi f_y} = \frac{8565}{0.9 \cdot 240} = 39.653 \text{ mm}^2$$

- Untuk tegangan putus $\phi = 0.75$

$$P_u = \phi f_y \times 0.75 \times A_g$$

$$A_g = \frac{P_u}{\phi f_y \cdot 0.75} = \frac{8565}{0.75 \times 240 \times 0.75} = 63.444 \text{ mm}^2 \dots\dots \text{Menentukan}$$

$$A_g = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = 63.444 \text{ mm}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{A_g}{\frac{1}{4} \cdot \pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{63.444}{\frac{1}{4} \cdot \pi}}$$

$$= 8.988 \text{ mm}$$

Digunakan trekstang dengan $\phi = 10 \text{ mm}$

Table 4.3 Pembagian Beban Kuda-Kuda.

Type Beban	D (kN)	La (kN)	R (kN)	Wtekan (kN)	Whisap (kN)
Oversteck	0.73831	0.89	0.63004	0.28545	0.08978
Tepi	1.10463	0.89	1.36509	0.64455	0.19452
Tengah	1.15696	0.89	1.4701	0.69414	0.20949
Puncak	0.79064	0.89	0.73505	0.34707	0.10474

4.12 Perhitungan Momen Portal *Gable Frame*

Perhitungan Momen digunakan program bantu Staad Pro 2008 V8i Bentley untuk mendapatkan nilai- nilai momen struktur *gable frame* yang diakibatkan beban mati termasuk berat sendiri, beban hidup, beban hujan dan beban angin dengan menggunakan profil T : 400.300

4.12.1 Perhitungan Balok Profil T

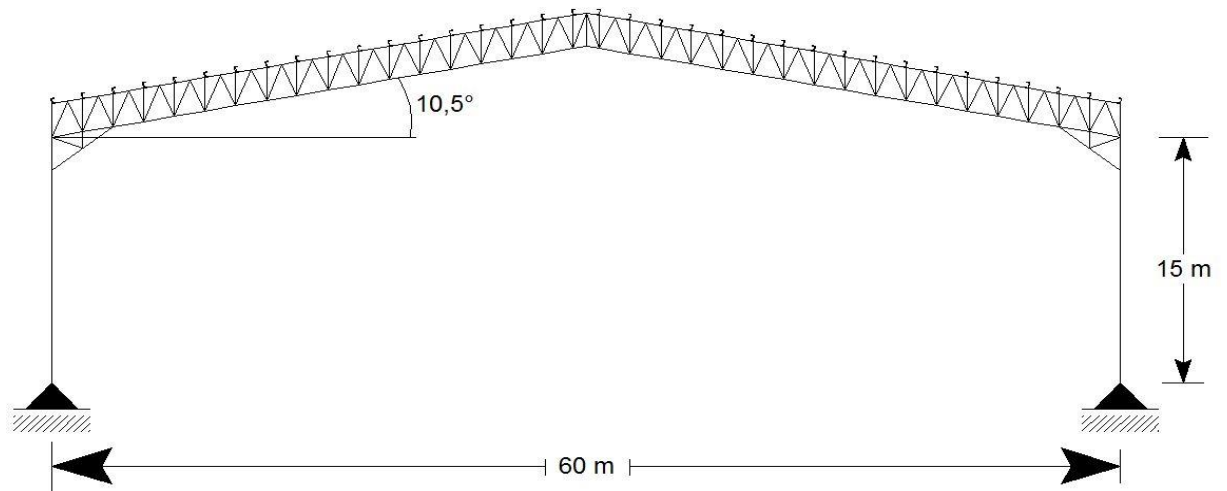
Perhitungan Kolom

Didapat nilai gaya aksial tekan terfaktor (N_u) dengan menggunakan program bantu Staad Pro 2008 V8i

V8i Bentley sebesar :

N_u : 873,08 kN Dengan tinggi kolom (L) = 15,00 m

M_u : 503,713 kN.m



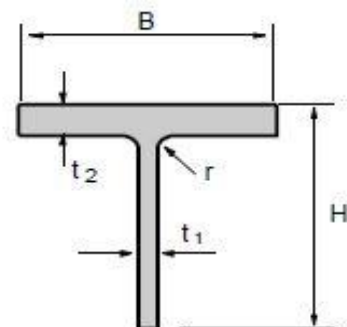
Gambar 4.34. Portal Gable frame

Dicoba dengan profil T 400. 300

Profil baja menggunakan BJ 50.

$$F_y = 290,00 \text{ MPa}$$

$$F_u = 500,00 \text{ MPa}$$



Data profil :

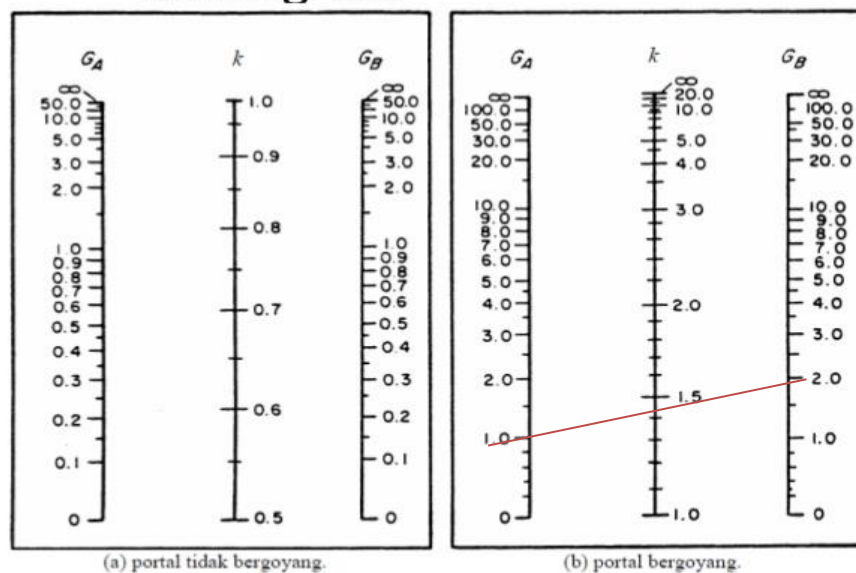
h	=	400	mm	A_g	=	113370,00	mm ²
b	=	300	mm	I_x	=	1.878.700	mm ⁴
t_1	=	26	mm	I_y	=	58.660	mm ⁴
t_2	=	28	mm				
r_x	=	11,85	mm				
r_y	=	6,62	mm				

4.12.2. Kondisi Tumpuan Sendi - Sendi

$$G_A = 1$$

$$G_B = \frac{\Sigma (I/L) \text{ kolom}}{\Sigma (I/L) \text{ balok}} = \frac{250,49}{123,15} = 2,034$$

Nomogram



(Sumber; AISC, LRFD; Manual Of Steel Counstraction, second edition;
Column Design 3-6)

Gambar 4.35. Monogram faktor panjang tekuk

Dari nomogram didapat nilai k faktor panjang tekuk

$$k = 1,45$$

4.12.3. Periksa Kelangsingan Penampang

$$\text{Flens} : \frac{b}{2 \times t_f} = \frac{300}{2 \times 28} = 5,357$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{290}} = 14,68 \quad (\text{ref. SNI 03-1729-2002. hal. 30-31})$$

$$\frac{(b/2)}{t_f} < \lambda_r \quad \dots \text{ KOMPAK}$$

$$\text{Web} \quad \frac{d}{t_w} = \frac{400}{18} = 22,222$$

$$\lambda_r = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{290}} = 39,05 \quad (\text{ref. SNI 03-1729-2002. hal. 30-31})$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_r \quad \dots \text{ KOMPAK}$$

4.12.4. Tekuk Terhadap Lentur :

Periksa terhadap tekuk lentur :

$$N_{nlt} = A_g \times f_{clt}$$

$$f_{clt} = \left(\frac{f_{cry} + f_{crz}}{2H} \right) \left(x \quad 1 \quad \sqrt{- \frac{4 \cdot F_{cry} \cdot F_{crz} \cdot H}{(f_{cry} + f_{crz})^2}} \right)$$

$$f_{crz} = \frac{G.J}{A \cdot r_0^2}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{200000}{2(1 + 0,3)} = 76,923 \text{ Mpa}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b \cdot t^3$$

$$J = 46666,5 \text{ mm}^4$$

$$t_1 = 26 \text{ mm}$$

$$t_2 = 28$$

$$r_0^2 = \frac{I_x + I_y}{A} + x_0^2 + y_0^2$$

$$= \frac{1878700 + 58660}{113370,00} + 784 + 676,0$$

$$= 628.648,242 \text{ mm}^2$$

$$f_{crz} = \frac{76,923 \times 46666,500}{113370,00 \times 628.648,242} = 0,050368153 \text{ Mpa}$$

$$H = 1 - \frac{t_1^2 + t_2^2}{r_0^2}$$

$$= 1 - \frac{784 + 676,0}{628.648,242} = 0,272$$

$$f_{cry} = \frac{f_y}{w_{iy}} = \frac{240}{1,720} = 139,534884 \text{ Mpa}$$

$$f_{clt} = 134,41 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} N_{clt} &= A_g \times f_{clt} = 113370 \times 134,41 \\ &= 15238,062 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jadi, tekuk lentur torsi menentukan.

$$\Phi_c \times N_{clt} = 0,85 \times 15238 = 12952,4 \text{ kN}$$

$$\frac{N_u}{\Phi_c \times N_{clt}} = \frac{873,079}{12952,352} = 0,067 < 1 \text{ OK}$$

Profil T 400.300 Sangat kuat.

4.12.6. Kontrol Lendutan

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 tabel 6.4-1 batas maksimum adalah :

$$f_{ijin} = \frac{L}{290} = \frac{3051}{290} = 10,521 \text{ cm}$$

Lendutan maksimum yang didapat dari perhitungan program bantu StaadPro 2008 vi8

sebesar = 1,2 cm

$$\begin{array}{rclcl} f_{ijin} & \geq & f_{maks} & & \\ 10,521 & \geq & 1,2 \text{ cm} & & \text{OK} \end{array}$$

4.13. Perhitungan Batang Profil Siku

Perhitungan Batang Tekan

Didapat nilai gaya aksial tekan terfaktor (N_u) dengan menggunakan program bantu

Staad Pro 2008 V8i Bentley sebesar $N_u = 1,966 \text{ kN} = 200,46 \text{ kg}$

Dicoba Profil Siku 130.130.9

Profil baja menggunakan BJ 37

$F_y = 240$

$F_u = 370$

Kondisi tumpuan Sendi-sendiri

Data Profil

$A_g = 2274 \text{ mm}^2$

$e_x = 35,3 \text{ mm}$

$e_y = 35,3 \text{ mm}$

$I_x = 3.660.000 \text{ mm}^4$

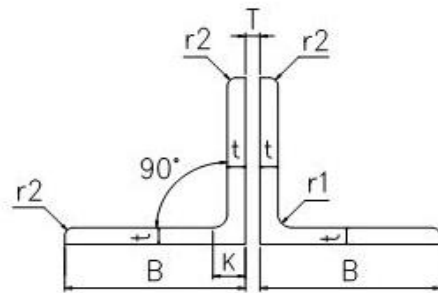
$I_y = 3.660.000 \text{ mm}^4$

$r_x = 40,1 \text{ mm}$

$r_y = 40,1 \text{ mm}$

$r_{\min} = 79,600 \text{ mm}$

$t_p = 9,000 \text{ mm}$



Gambar 4.36. Profil Double siku

$$\text{Flens } \frac{b}{t} = \frac{130}{10} = 13,000$$

$$\lambda_r = \frac{200}{\sqrt{f_y}} = \frac{200}{\sqrt{240}} = 12,910 \quad (\text{SNI 1729-2002 hal. 30})$$

$$\frac{b}{t} < \lambda_r \quad \text{TIDAK KOMPAK}$$

Web Tak ada Syarat

Kondisi tumpuan Jepit - Jepit $k = 0,7$

Dicoba menggunakan 6 buah plat kopel

$$L_1 = \frac{1610}{6 - 1} = 267,33333$$

$$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_{\min}} = \frac{267,33333}{79,6} = 3,36 < 50 \quad \text{OK}$$

Arah sumbu bebas bahan (sumbu x) :

$$\lambda_x = \frac{k \cdot L_x}{r_x} = \frac{0,7 \times 1610}{40} = 26,097$$

$$\lambda_x = 26,097 > 1,2 \lambda_1 = 4,03 \quad \text{OK}$$

Arah sumbu bebas bahan (sumbu y) :

$$I_y = 2 \left(\lambda y_1 + A_g \left(e_y + \frac{tp}{2} \right)^2 \right)$$

$$I_y = 2 \left(39600 + 1410 \left(15,6 + 4 \right)^2 \right) = 14524214 \text{ mm}^4$$

$$A_{\text{profil}} = 2 \times 2274 = 4548 \text{ mm}^2$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_{\text{profil}}}} = \frac{14524213,9}{4548} = 56,511 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{k \cdot L_y}{r_x} = \frac{0,7 \times 1610}{56,511} = 18,518$$

Kelangsingan ideal :

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2}$$

$$\lambda_{iy} = \sqrt{342,931 + \frac{2}{2} 11,279} = 18,820$$

$$\lambda_{iy} = 18,820 > 1,2 \lambda_1 = 4 \quad \text{OK}$$

Karena $\lambda_{iy} > \lambda_x$, tekuk terjadi pada sumbu bebas bahan

$$\begin{aligned} \lambda_{cy} &= \frac{\lambda_{iy}}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{18,820}{3,14} \times \sqrt{\frac{240}{200000}} \\ &= 0,2076 \end{aligned}$$

$$0,25 < \lambda_{cy} < 1,2 \quad \text{OK}$$

$$w_y = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_{cy}}$$

$$w_y = \frac{1,43}{1,6 - 0,139} = 0,979$$

$$N_n = A_g \times \frac{f_y}{w_y} = 4548 \times \frac{240}{0,979}$$

$$= 111,509646 \text{ ton}$$

Periksa terhadap tekuk lentur :

$$N_{nlt} = A_g \times f_{clt}$$

$$f_{clt} = \left[\frac{f_{cry} + f_{crz}}{2H} \right] \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot F_{cry} \cdot F_{crz} \cdot H}{(f_{cry} + f_{crz})^2}} \right]$$

$$f_{crz} = \frac{G \cdot J}{A \cdot r_0^2}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{200000}{2(1 + 0,3)} = 76,923 \text{ Mpa}$$

$$J = 2 \sum \frac{1}{3} b \cdot t$$

$$J = \frac{1}{3} \times \left[60 \times 10^3 + \frac{1}{3} \times (90 - 10) \times 10^3 \right]$$

$$= 93333,33333$$

$$y_0 = e_x - \frac{t}{2} = 35,3 - \frac{10}{2} = 30,3 \text{ mm}$$

$$x_0 = 0$$

$$r_0^2 = \frac{I_x + I_y}{A} + x_0^2 + y_0^2$$

$$= \frac{366 + 366 \times 10^4}{4548} + 0 + 30,3^2$$

$$= 2.527,589 \text{ mm}^2$$

$$f_{crz} = \frac{76,923}{4548} \times \frac{93333,333}{2.527,589} = 624,549 \text{ Mpa}$$

$$H = 1 - \frac{x^2 + y^2}{r^2}$$

$$= 1 - \frac{0 + 30,3^2}{2.527,589} = 0,637$$

$$f_{cry} = \frac{f_y}{w_{iy}} = \frac{240}{0,979} = 245,1839 \text{ Mpa}$$

$$f_{clt} = 134,41 \text{ Mpa}$$

$$N_{clt} = A_g \times f_{clt} = 4548 \times 134,41$$

$$= 61,130 \text{ ton}$$

Jadi, tekuk lentur torsi menentukan.

$$\Phi_c \times N_{clt} = 0,85 \times 61 = 52,0 \text{ ton}$$

$$\frac{Nu}{\Phi_c \times N_{clt}} = \frac{2,005}{51,960} = 0,039 < 1 \text{ OK}$$

Profil Siku 130.130.9 Sangat kuat.

Perhitungan Batang Tarik

Didapat nilai gaya aksial tekan terfaktor (N_u) dengan menggunakan program bantu

Staad Pro 2007 V8i Bentley sebesar $N_u = 200,46 \text{ kg}$

Dicoba Profil Siku 130.130.9

Profil baja menggunakan BJ 37

$$F_y = 240$$

$$F_u = 370$$

$$T_n = A_g \times f_y$$

$$= 2274 \times 240$$

$$= 54,576 \text{ ton}$$

$$T_u < \Phi \cdot T_n$$

$$2,0046 < 54,576 \text{ OK}$$

Profil Siku 130.130.9 Cukup kuat.

4.14 Perhitungan Sambungan Untuk Metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD)

4.14.1 Perhitungan Sambungan Balok Profil Siku

Data Perencanaan profil T dan Siku

Balok T

Tinggi balok (d) = 400 mm

Lebar balok (b) = 300 mm

Tebal Web (t_1) = 26 mm

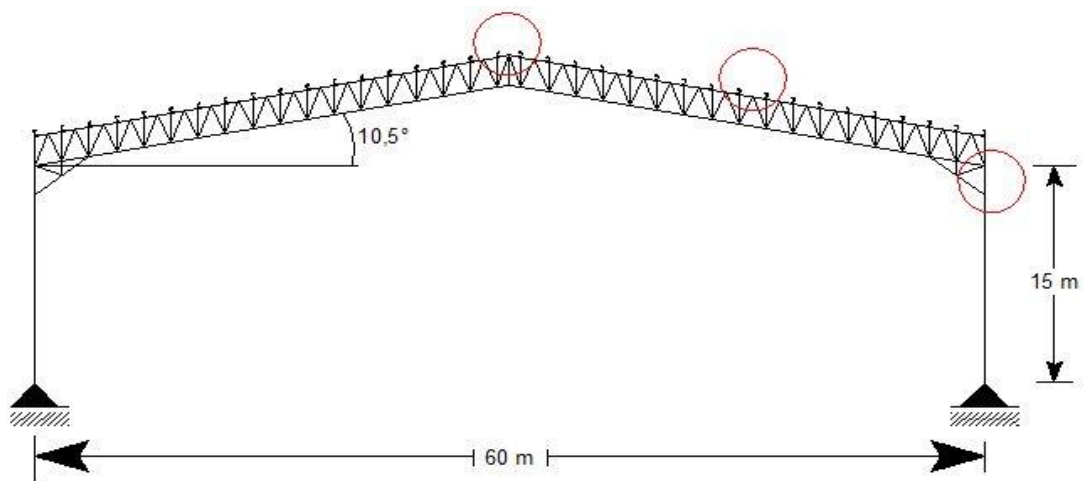
Tebal flange (t_2) = 28 mm

Balok Siku

Tinggi balok (d) = 130 mm

Lebar balok (b) = 130 mm

Tebal flange (t) = 9 mm

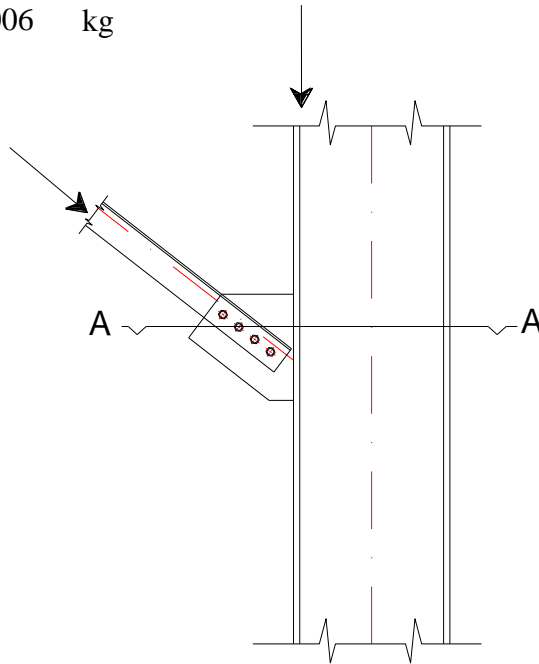


Gambar 4.37. Penamaan Sambungan

Sambungan Rafter Tepi

Diketahui : $S_{186} = 30175,135 \text{ kg}$

$S_{183} = 73,006 \text{ kg}$



Gambar 4.38. Skema Penyambungan kolom balok

Dimensi Lubang Baut = 33 mm

Digunakan baut A325

Kekuatan tarik baut F_{nt} = 620 Mpa
= 6200 kg/cm²

Tegangan tarik pelat F_{nv} = 372 Mpa
= 3720 kg/cm²

Diameter baut = A325 = 0,300 cm

Luas penampang baut (A_b) = $1/4 \cdot \pi \cdot 0,300^2$
= 3,14 cm²

Jarak tepi baut diambil = $1,5 d_b - 3 d_b$

Jarak minimum = $1,5 \cdot 0,300 = 0,45 \text{ cm}$

Jarak maksimal = $3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm}$

Diambil jarak tepi baut = 0,60 cm

Jarak antar baut = $3 d_b - 7 d_b$

Jarak minimum = $3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm}$

$$\text{Jarak maksimal} = 7 \cdot 0,300 = 2,10 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar lubang baut} = 1,00 \text{ cm}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tarik (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned} R_n &= F_{nt} \cdot A_b \\ &= 6200 \cdot 3,140 \\ &= 19468,00 \text{ kg} \\ \phi R_n &= 0,75 \cdot 19468,0 \\ &= 14601,00 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap geser (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned} R_n &= F_{nv} \cdot A_b \cdot M \\ &= 3720 \cdot 3,14 \cdot 1 \\ &= 11680,8 \text{ kg} \\ \phi R_n &= 0,75 \cdot 11680,8 \\ &= 8760,600 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tumpu (*SNI 1729:2015 hal 132*)

$$\text{Tebal plat penyambung } t_p = 1 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} R_n &= 2,0 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u \\ &= 2,4 \cdot 26,00 \cdot 14,000 \cdot 500,0 \\ &= 436800 \text{ kg} \\ \phi R_n &= 0,75 \cdot 436800 \\ &= 327600,00 \end{aligned}$$

$$\text{Diambil yang terkecil adalah akibat tumpu sebesar} = 8761 \text{ kg}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan

Pada batang S_{183}

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{S_{181}}{\phi R_n} \\
 &= \frac{73,006}{8760,6} \\
 &= 0,008 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut}
 \end{aligned}$$

Diambil = 4 buah baut

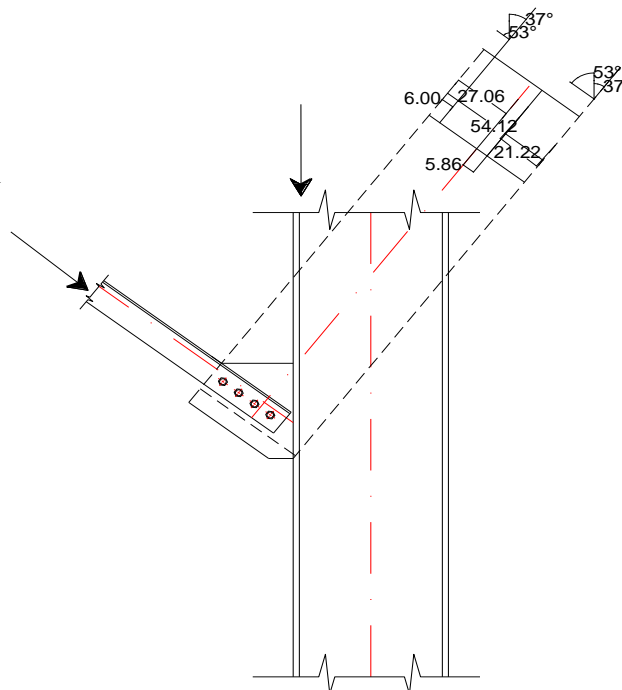
Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}
 f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\
 &= \frac{73,006}{1} \leq 8760,6 \cdot 1 \\
 &= 73,006 \text{ kg/cm}^2 \leq 8760,60 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Plat Simpul

$$S_{186} = 30175,135$$

$$S_{183} = 73,01$$



Gambar 4.39. Skema Penyambungan kolom balok

$$\begin{aligned}
\text{Nut} &= \left[S_{183} \times \cos \alpha \right] + \left[S_{186} \times \cos \alpha \right] \\
&= 43,93610758 + 24098,93 \\
&= 24142,87044 \text{ Kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Vu} &= \left[S_{183} \times \cos \alpha \right] + \left[S_{186} \times \cos \alpha \right] \\
&= 58,30518405 + 18159,85 \\
&= 18218,15475 \text{ Kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Mu} &= \left[S_{183} \times \cos \alpha \right] \times \left[27,0 - 6,00 \right] - \left[S_{186} \times \cos \alpha \right] \\
&\quad \times \left[21,2 - 5,80 \right] \\
&= \left[24098,93433 \times 21,0 \right] - \left[43,936108 \times 15,4 \right] \\
&= 505401,0049 \text{ kg/cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Ag} &= t.h \\
&= 27,06 \text{ cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Phi t.Nnt &= 0,9 \cdot F_y \cdot \text{Ag} \\
&= 0,9 \times 3720 \times 27,1 \\
&= 90596,88
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Z &= \frac{1}{4} \cdot t \cdot h^2 - A \text{ lubang} \times \text{jarak} \\
&= \frac{1}{4} 1464 - 0,6 \\
&= 365,5218 \text{ cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Phi b.Mn &= 0,9 \cdot Z \cdot F_y \\
&= 0,9 \times 365,5218 \times 3720 \\
&= 1223766,986 \text{ kg/cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{An} &= t.h - A \text{ lubang} \\
&= 26,760 \text{ cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi_v.V_n &= 0,75 (0,6 \cdot A_n \cdot F_u) \\
 &= 0,75 \times \left[0,6 \times 26,760 \times 6200 \right] \\
 &= 74660,400 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

kontrol pelat simpul

$$\left(\left(\frac{N_{ut}}{\Phi_t.N_{nt}} \right) + \left(\frac{M_n}{\Phi_b.M_n} \right)^{2'} \right) + \left(\frac{V_u}{\Phi_v.V_n} \right)^{2'} < 1$$

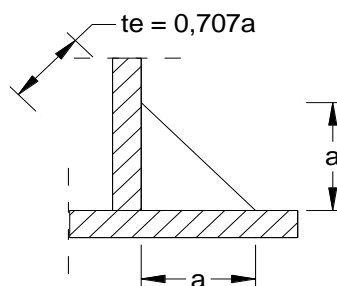
$$\left(\left(\frac{24142,87}{90596,88} \right) + \left(\frac{505401}{1223767} \right)^{2'} \right) + \left(\frac{18218,155}{74660,40} \right)^{2'} < 1$$

$$0,50 < 1$$

OK

Jadi pelat simpul kuat.

Las Sudut



Gambar 4.40. Skema Sambungan Las

Persyaratan ukuran Las

(SNI 1729:2015, hal 116)

Tebal plat minimum yang disambung 14 mm

ukuran minimum las sudut (a)

$$13 < 14 < 19 = 6 \text{ mm}$$

$$\text{ukuran maksimum las sudut} = \text{tebal plat} - 2$$

$$= 18 - 2$$

$$= 16 \text{ mm}$$

Diambil las sudut 6 mm

Throat Efektif untuk las sudut

$$\begin{aligned} t_e &= 0,707 \times a \\ &= 0,707 \times 6 = 4,242 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang minimum las sudut

$$\begin{aligned} l_{min} &= 4 \times a \\ &= 4 \times 6 = 24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai elektroda 60 :

$$\text{Tegangan Leleh las } f_{exx} = 3540 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan nominal dari logam las

$$\begin{aligned} f_{nw} &= 0,6 F_{exx} \left[1 + 0,5 \sin^{1,5} \Theta \right] \\ &= 0,6 \times 3540 \left[1 + 0,5 \sin^{1,5} 45^\circ \right] \\ &= 2124 \times 1,4 \\ &= 2875 \\ &= 275,5467 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kuat rencana las sudut

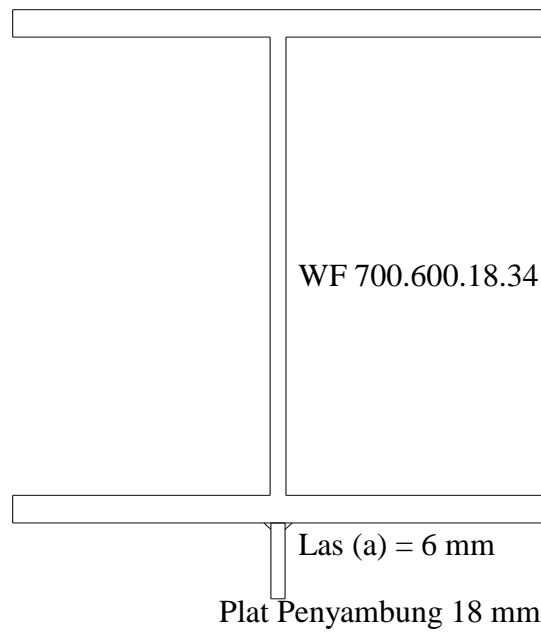
$$\begin{aligned} \phi R_{nw} &= \phi \times f_{nw} \times t_e \\ &= 0,75 \times 276 \times 4,24 \\ &= 438,33 \end{aligned}$$

Panjang efektif las yang dibutuhkan L_w

$$\begin{aligned} L_w &= \frac{30175,14}{438,33} \\ &= 688 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol Las terhadap tegangan tarik

$$\begin{aligned} L_w &= \frac{S_{186}}{\phi R_{nw}} = \frac{30175,14}{438,33} = 68,841778 \\ L_w &> l_{min} \\ 68,8 \text{ mm} &> 24 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.41 Potongan Skema Sambungan Las

Sambungan Rafter Tepi 2

Didapat nilai gaya aksial tekan terfaktor (V_u) dan (M_u) dengan menggunakan program bantu Staad Pro 2008

$$M_u T = 51360,78 \text{ kg.m} = 503713000 \text{ N.mm}$$

$$V_u T = 16044,81 \text{ kg}$$

$$S_{180} = 197 \text{ kg}$$

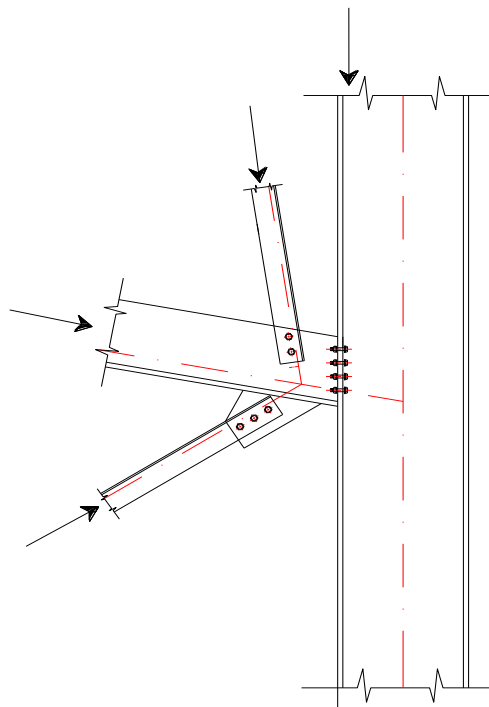
$$S_{187} = 3169 \text{ kg}$$

$$S_{185} = 196,995 \text{ kg}$$

$$S_{186} = 30175,14 \text{ kg}$$

$$V_u T = 16044,809 \text{ kg}$$

$$S_{184} = 3169,359 \text{ kg}$$



Gambar 4.42. Skema Penyambungan kolom balok

Dimensi Lubang Baut = 30 mm

Digunakan baut A325

$$\begin{aligned} \text{Kekuatan tarik baut } F_{nt} &= 620 \text{ Mpa} \\ &= 6200 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan tarik pelat } F_{nv} &= 372 \text{ Mpa} \\ &= 3720 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter baut} = A325 = 0,300 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas penampang baut } (A_b) &= 1/4 \cdot 3,14 \cdot 0,300^2 \\ &= 3,14 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Jarak tepi baut diambil} = 1,5 d_b - 3 d_b$$

$$\text{Jarak minimum} = 1,5 \cdot 0,300 = 0,45 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak maksimal} = 3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm}$$

$$\text{Diambil jarak tepi baut} = 0,90 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar baut} = 3 d_b - 7 d_b$$

$$\text{Jarak minimum} = 3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak maksimal} = 7 \cdot 0,300 = 2,10 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar lubang baut} = 1,00 \text{ cm}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tarik (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned}R_n &= F_{nt} \cdot A_b \\ &= 6200 \cdot 3,140 \\ &= 19468,00 \text{ kg} \\ \phi R_n &= 0,75 \cdot 19468,0 \\ &= 14601,00 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap geser (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned}R_n &= F_{nv} \cdot A_b \cdot M \\ &= 3720 \cdot 3,14 \cdot 1 \\ &= 11680,8 \text{ kg} \\ \phi R_n &= 0,75 \cdot 11680,8 \\ &= 8760,600 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tumpu (*SNI 1729:2015 hal 132*)

$$\text{Tebal plat penyambung } t_p = 1 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}R_n &= 2,0 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u \\ &= 2,4 \cdot 26,00 \cdot 14,000 \cdot 500,0 \\ &= 436800 \text{ kg} \\ \phi R_n &= 0,75 \cdot 436800 \\ &= 327600,00\end{aligned}$$

Diambil yang terkecil adalah akibat tumpu sebesar = 8761 kg

Jumlah baut yang dibutuhkan

Pada batang S_{181}

$$\begin{aligned} n &= \frac{V_u T}{\phi R_n} \\ &= \frac{16044,809}{8760,6} \\ &= 1,831 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah baut} \end{aligned}$$

Diambil = 6 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned} f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\ &= \frac{16044,809}{2} \leq 8760,6 \cdot 2 \\ &= 8022,405 \text{ kg/cm}^2 \leq 17521,20 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan

Pada batang S_{185}

$$\begin{aligned} n &= \frac{S_{185}}{\phi R_n} \\ &= \frac{196,995}{8760,6} \\ &= 0,022 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut} \end{aligned}$$

Diambil = 2 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned} f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\ &= \frac{196,995}{1} \leq 8760,6 \cdot 2 \\ &= 196,995 \text{ kg/cm}^2 \leq 17521,20 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan

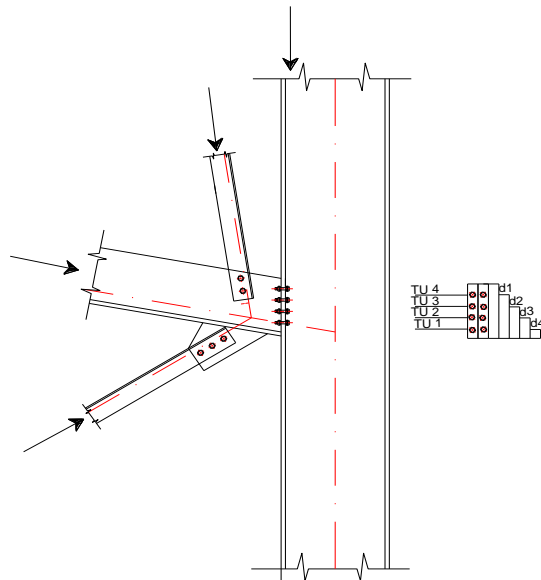
Pada batang S_{184}

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{S_{184}}{\phi R_n} \\
 &= \frac{3169,359}{8760,6} \\
 &= 0,362 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut}
 \end{aligned}$$

Diambil = 3 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}
 f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\
 &= \frac{3169,359}{1} \leq 8760,6 \cdot 3 \\
 &= 3169,359 \text{ kg/cm}^2 \leq 26281,80 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.43. Diagram tegangan baut

Jarak baut (d_i)

$$\begin{aligned}
 d_1 &= 10,00 \text{ cm} & d_3 &= 30,00 \text{ cm} \\
 d_2 &= 20,00 \text{ cm} & d_4 &= 40,00 \text{ cm} \\
 d_i &= \left[\begin{array}{cccc} d_1 + & d_2 + & d_3 + & d_4 \\ 100 & + & 200 & + & 300 & + & 400 \end{array} \right] \\
 &= 100 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Kontrol terhadap tarik baut

Gaya Tarik Perlu (pada 2 baut dalam 1 baris)

$$\begin{aligned} Tu1 &= \frac{Mu \times d4}{dt^2} = \frac{51360,78 \times 40}{(100)^2} = 205,4431 \text{ kg} \\ Tu2 &= \frac{Mu \times d4}{dt^2} = \frac{51360,78 \times 30}{(100)^2} = 154,0823 \text{ kg} \\ Tu3 &= \frac{Mu \times d4}{dt^2} = \frac{51360,78 \times 20}{(100)^2} = 102,7216 \text{ kg} \\ Tu4 &= \frac{Mu \times d4}{dt^2} = \frac{51360,78 \times 10}{(100)^2} = 51,36078 \text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya Tarik pada baut

$$\begin{aligned} T_b &= A_b \times f_{ub} \\ &= 3,14 \times 6200 \\ &= 19468 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_d &= \phi T_b \\ &= 0,75 \times 19468 \\ &= 14601 \text{ kg} \end{aligned}$$

Karena dalam 1 baris terdiri 2 baut, maka

$$\begin{aligned} Td_2 &= 2 \times T_d \\ &= 2 \times 14601 \\ &= 29202 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Tu2 &= 205,44312 < 29202 \quad \text{OK} \\ Tu3 &= 154,08234 < 29202 \quad \text{OK} \\ Tu4 &= 102,72156 < 29202 \quad \text{OK} \\ Tu5 &= 51,36078 < 29202 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan baut terhadap momen

$$\text{Kuat nominal 1 baut terhadap tarik } T_d = 14601 \text{ kg}$$

$$\text{Garis netral diasumsikan } < S_1 = 10 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \Sigma T &= T_{u1} + T_{u2} + T_{u3} + T_{u4} \\ &= 205,44312 + 154,08234 + 102,72156 + 102,7216 + \\ &\quad 51,36078 \\ &= 616,32936 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$T_{d2} \times d_1 = 29202 \times 10 = 292020 \text{ kg.cm}$$

$$T_{d2} \times d_2 = 29202 \times 20 = 584040 \text{ kg.cm}$$

$$T_{d2} \times d_3 = 29202 \times 30 = 876060 \text{ kg.cm}$$

$$T_{d2} \times d_4 = 29202 \times 40 = 1168080 \text{ kg.cm}$$

$$\sum_{i=1}^n T.d.di = 2920200 \text{ kg.cm}$$

Garis netral pada pelat siku (a)

$$\begin{aligned} a &= \frac{\Sigma T}{f_y \times b} = \frac{616,32936}{2900 \times 30} \\ &= 0,007 \text{ cm} < S_1 = 10 \text{ cm, maka asumsi benar} \end{aligned}$$

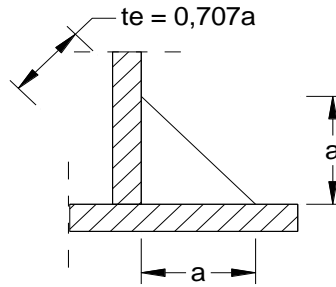
Momen rencana

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \frac{0,9 \times f_y \times a^2 \times b}{2} + \sum_{i=1}^n T.d.di \\ \phi M_n &= \frac{0,9 \times 2900 \times 0,7 \times 30}{2} + 2920200 \\ &= 2939991,147 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

Kontrol Momen

$$\begin{aligned} \phi M_n \text{ Baut} &\geq \mu_u \\ 2939991 \text{ kg.cm} &> 51360,78 \text{ kg.cm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Las Sudut



Gambar 4.44. Skema Sambungan Las

Persyaratan ukuran Las

(SNI 1729:2015, hal 116)

Tebal plat minimum yang disambung 14 mm

ukuran minimum las sudut (a)

$$13 < 14 < 19 = 6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{ukuran maksimum las sudut} &= \text{tebal plat} - 2 \\ &= 18 - 2 \\ &= 16 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil las sudut 6 mm

Throad Efektif untuk las sudut

$$\begin{aligned} te &= 0,707 \times a \\ &= 0,707 \times 6 = 4,242 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang minimum las sudut

$$\begin{aligned} l_{min} &= 4 \times a \\ &= 4 \times 6 = 24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai elektroda 60 :

$$\text{Tegangan Leleh las } f_{exx} = 3540 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan nominal dari logam las

$$\begin{aligned} f_{nw} &= 0,6 F_{exx} \left[1 + 0,5 \sin^{1,5} \Theta \right] \\ &= 0,6 \times 3540 \left[1 + 0,5 \sin^{1,5} 45 \right] \\ &= 2124 \times 1,35 \end{aligned}$$

2875

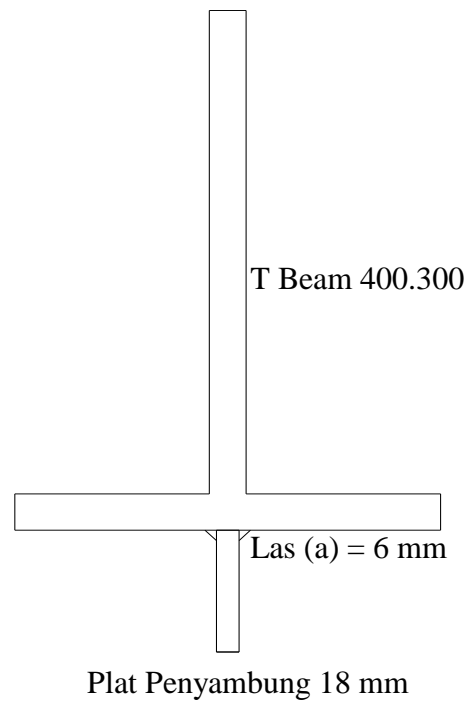
$$= 275,5467 \text{ Mpa}$$

Kuat rencana las sudut

$$\begin{aligned}\phi R_{nw} &= \phi \times f_{nw} \times t_e \\ &= 0,75 \times 276 \times 4,24 \\ &= 438,33\end{aligned}$$

Kontrol Las terhadap tegangan tarik

$$\begin{aligned}L_w &= \frac{V_u}{\phi R_{nw}} = \frac{16044,81}{438,33} = 36,604747 \\ L_w &> l_{min} \\ 36,6 \text{ mm} &> 24 \text{ mm}\end{aligned}$$



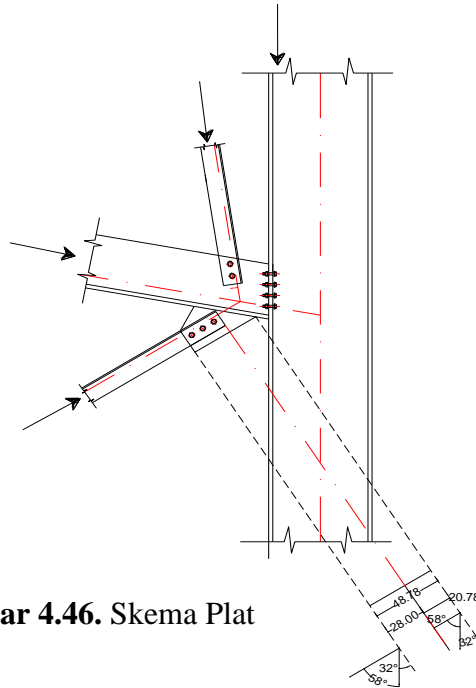
Gambar 4.45 Potongan Skema Sambungan Las

Perhitungan Plat Simpul

Batang S_{184}

$$S_{181} = 16044,809 \text{ kg}$$

$$S_{184} = 3169,359 \text{ kg}$$



Gambar 4.46. Skema Plat

$$\begin{aligned} \text{Nut} &= \left[S_{181} \times \cos \alpha \right] + \left[S_{184} \times \cos \alpha \right] \\ &= 8502,45338 + 2687,769 \\ &= 11190,22225 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vu} &= \left[S_{181} \times \cos \alpha \right] + \left[S_{184} \times \cos \alpha \right] \\ &= 2687,768866 + 8502,453 \\ &= 11190,22225 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= \left[S_{181} \times \cos \alpha \right] \times \left[14,1 - 5,60 \right] - \left[S_{184} \times \cos \alpha \right] \\ &\quad \times \left[14,1 - 10,1 \right] \\ &= \left[8502,45338 \times 8,5 \right] - \left[2687,7689 \times 4,1 \right] \\ &= 60960,26715 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ag} &= t.h \\ &= 878 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_t.Nnt &= 0,9 \cdot F_y \cdot \text{Ag} \\ &= 0,9 \times 3720 \times 878 \\ &= 2939677,92 \end{aligned}$$

$$Z = \frac{1}{4} \cdot t \cdot h^2 - A \text{ lubang} \times \text{jarak}$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 42830,791 - 3,6$$

$$= 10704,0978 \text{ cm}$$

$$\Phi_b.M_n = 0,9 \cdot Z \cdot F_y$$

$$= 0,9 \times 10704,098 \times 3720$$

$$= 35837319,43 \text{ kg/cm}$$

$$A_n = t \cdot h - A \text{ lubang}$$

$$= 877,740 \text{ cm}$$

$$\Phi_v.V_n = 0,75 (0,6 \cdot A_n \cdot F_u)$$

$$= 0,75 \times \left[0,6 \times 877,740 \times 6200 \right]$$

$$= 2448894,60 \text{ kg/cm}$$

kontrol pelat simpul

$$\left(\left(\frac{N_{ut}}{\Phi_t.N_{nt}} \right) + \left(\frac{M_n}{\Phi_b.M_n} \right)^2 \right) + \left(\frac{V_u}{\Phi_v.V_n} \right)^2 < 1$$

$$\left(\left(\frac{11190,22}{2939678} \right) + \left(\frac{60960,267}{35837319} \right)^2 \right) + \left(\frac{11190,222}{2448894,6} \right)^2 < 1$$

$$0,0038 < 1$$

OK

Jadi pelat simpul kuat.

Pelat Ujung (End Plate)

Menurut AISC hal 10-25 perencanaan tebal pelat ujung sebagai berikut :

$$t_{min} = \sqrt{\frac{4 \times M_{eu}}{\phi \times F_y \times b_p}}$$

$$C_a = 1,36 \text{ (AISC Tabel 10-1)}$$

$$b_p = b_f + 25,4 \text{ mm} = 400 + = 425,4 \text{ mm}$$

$$C_b = \sqrt{\frac{b_f}{b_p}} = \sqrt{\frac{400}{425}} = 0,97$$

$$d_b = \text{dimensi baut} = 30 \text{ mm}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$p_f = \text{jarak pusat ke tepi} - t_f$$

$$= 150 - 18$$

$$= 124 \text{ mm}$$

$$p_e = p_f - \frac{d_b}{4} \text{ Lebar kaki las}$$

$$= 132 - (30/4) - 6$$

$$= 110,5 \text{ mm}$$

Luas sayap pada balok tarik (A_f)

$$A_f = b_f \times t_2$$

$$= 400 \times 28$$

$$= 11200 \text{ mm}^2$$

Luas bersih (A_w)

$$A_w = (h - 2t_2) \times t_w$$

$$= (400 - 2 \times 28) \times 26$$

$$= 8944 \text{ mm}^2$$

$$a_m = C_a \times C_b \left(\frac{A_f}{A_w} \right)^{1/3} \times \left(\frac{p_e}{d_b} \right)^{1/3}$$

$$a_m = 1,36 \times 0,97948 \times \left(\frac{11200}{8944} \right)^{1/3} \times \left(\frac{110,5}{30} \right)^{1/3}$$

$$= 0,68$$

Gaya terfaktor pada sayap (P_{uf})

$$\begin{aligned} P_{uf} &= \frac{Mu}{h - t_f} \\ &= \frac{503713000}{400 - 28} = 1354067,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen Pelat Ujung (M_{eu})

$$\begin{aligned} M_{eu} &= x \cdot p_{uf} \cdot x \cdot \frac{pe}{4} \\ &= 0,68 \cdot x \cdot 1354067,204 \cdot x \cdot \frac{110,5}{4} \\ &= 25536521 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

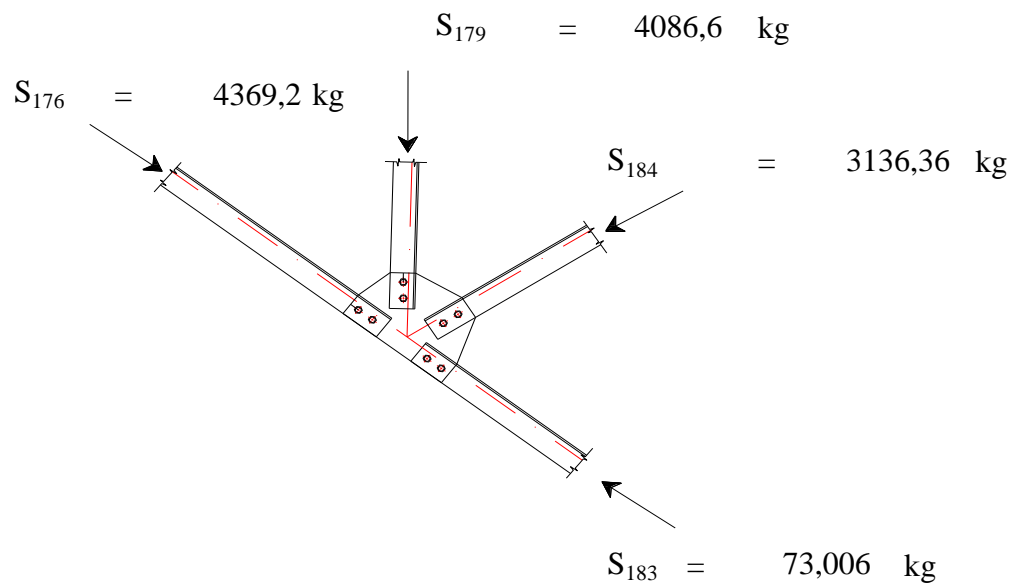
Tebal Pelat Ujung Minimum (t_{min})

$$\begin{aligned} t_{min} &= \sqrt{\frac{4 \times M_{eu}}{\phi \times F_y \times b_p}} \\ &= \sqrt{\frac{4 \times 25536521}{0,9 \times 290 \times 425,4}} \\ &= 30,331359 \text{ mm} \sim 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi Tebal pelat yang digunakan untuk sambungan E adalah 30 mm.

Sambungan Tepi 3

Diketahui :



Gambar 4.47. Skema Penyambungan

Dimensi Lubang Baut = 33 mm

Digunakan baut A325

Kekuatan tarik baut F_{nt} = 620 Mpa
= 6200 kg/cm²

Tegangan tarik pelat F_{nv} = 372 Mpa
= 3720 kg/cm²

Diameter baut = A325 = 0,300 cm

Luas penampang baut (A_b) = $1/4 \cdot 3,14 \cdot 0,300^2$
= 3,14 cm²

Jarak tepi baut diambil = $1,5 d_b - 3 d_b$

Jarak minimum = $1,5 \cdot 0,300 = 0,45 \text{ cm}$

Jarak maksimal = $3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm}$

Diambil jarak tepi baut = 0,60 cm

Jarak antar baut = $3 d_b - 7 d_b$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak minimum} &= 3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm} \\
 \text{Jarak maksimal} &= 7 \cdot 0,300 = 2,10 \text{ cm} \\
 \text{Jarak antar lubang baut} &= 1,00 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tarik (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nt} \cdot A_b \\
 &= 6200 \cdot 3,140 \\
 &= 19468,00 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0,75 \cdot 19468,0 \\
 &= 14601,00 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap geser (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nv} \cdot A_b \cdot M \\
 &= 3720 \cdot 3,14 \cdot 1 \\
 &= 11680,8 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0,75 \cdot 11680,8 \\
 &= 8760,600 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tumpu (*SNI 1729:2015 hal 132*)

$$\text{Tebal plat penyambung } t_p = 1 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2,0 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u \\
 &= 2,4 \cdot 26,00 \cdot 14,000 \cdot 500,0 \\
 &= 436800 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0,75 \cdot 436800 \\
 &= 327600,0
 \end{aligned}$$

$$\text{Diambil yang terkecil adalah akibat tumpu sebesar} = 8761 \text{ kg}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan

Pada batang S_{176}

$$\begin{aligned}n &= \frac{S_{176}}{\phi R_n} \\&= \frac{4369,200}{8760,6} \\&= 0,499 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut}\end{aligned}$$

Diambil = 2 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\&= \frac{4369,200}{2} \leq 8760,6 \cdot 2 \\&= 2184,600 \text{ kg/cm}^2 \leq 17521,20 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Pada batang S_{179}

$$\begin{aligned}n &= \frac{S_{179}}{\phi R_n} \\&= \frac{4086,630}{8760,6} \\&= 0,466 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut}\end{aligned}$$

Diambil = 2 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\&= \frac{4086,630}{2} \leq 8760,6 \cdot 2 \\&= 2043,315 \text{ kg/cm}^2 \leq 17521,20 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Pada batang S_{184}

$$\begin{aligned}n &= \frac{S_{184}}{\phi Rn} \\&= \frac{3136,360}{8760,6} \\&= 0,358 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut}\end{aligned}$$

Diambil = 2 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi Rn \cdot N \\&= \frac{3136,360}{2} \leq 8760,6 \cdot 2 \\&= 1568,180 \text{ kg/cm}^2 \leq 17521,20 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Pada batang S_{183}

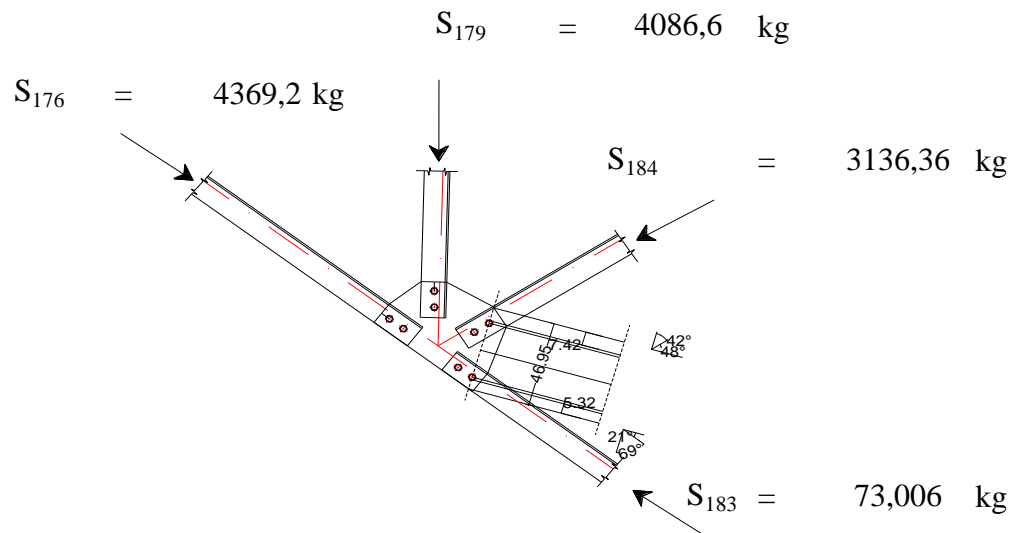
$$\begin{aligned}n &= \frac{S_{183}}{\phi Rn} \\&= \frac{73,006}{8760,6} \\&= 0,008 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut}\end{aligned}$$

Diambil = 2 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi Rn \cdot N \\&= \frac{73,006}{2} \leq 8760,6 \cdot 2 \\&= 36,503 \text{ kg/cm}^2 \leq 17521,20 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Perhitungan Plat Simpul



Gambar 4.48. Skema Penyambungan

$$\begin{aligned}
 \text{Nut} &= \left(S_{184} \times \cos \alpha \right) + \left(S_{183} \times \cos \alpha \right) \\
 &= 2098,634469 + 2928,044 \\
 &= 5026,678775 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Vu} &= \left(S_{184} \times \cos \alpha \right) + \left(S_{183} \times \cos \alpha \right) \\
 &= 1123,970902 + 54,25403 \\
 &= 1178,224933 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mu} &= \left(S_{184} \times \cos \alpha \right) \times \left(17,0 - 7,40 \right) - \left(S_{183} \times \cos \alpha \right) \\
 &\quad \times \left(15,0 - 5,00 \right) \\
 &= \left(2098,634469 \times 9,6 \right) - \left(2928,044 \times 10,0 \right) \\
 &= 9133,552166 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ag} &= t \cdot h \\
 &= 846 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi_t \cdot \text{Nnt} &= 0,9 \cdot F_y \cdot \text{Ag} \\
 &= 0,9 \times 3720 \times 846 \\
 &= 2832408
 \end{aligned}$$

$$Z = \frac{1}{4} \cdot t \cdot h^2 - A \text{ lubang} \times \text{jarak}$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 39762 \cdot 3,6$$

$$= 9936,9 \text{ cm}$$

$$\Phi_b.M_n = 0,9 \cdot Z \cdot F_y$$

$$= 0,9 \cdot 9936,9 \cdot 3720$$

$$= 33268741,2 \text{ kg/cm}$$

$$A_n = t \cdot h - A \text{ lubang}$$

$$= 845,7 \text{ cm}$$

$$\Phi_v.V_n = 0,75 (0,6 \cdot A_n \cdot F_u)$$

$$= 0,75 \cdot \left[0,6 \cdot 845,700 \cdot 6200 \right]$$

$$= 2359503,000 \text{ kg/cm}$$

kontrol pelat simpul

$$\left(\left(\frac{N_{ut}}{\Phi_t.N_{nt}} \right) + \left(\frac{M_n}{\Phi_b.M_n} \right)^{2'} \right) + \left(\frac{V_u}{\Phi_v.V_n} \right)^{2'} < 1$$

$$\left(\left(\frac{5026,679}{2832408} \right) + \left(\frac{9133,552}{33268741} \right)^{2'} \right) + \left(\frac{1178,225}{2359503} \right)^{2'} < 1$$

$$0,001775 < 1$$

OK

Jadi pelat simpul kuat.

Sambungan Puncak

Didapat nilai gaya aksial tekan terfaktor (V_u) dan (M_u) dengan menggunakan program bantu Staad Pro 2008

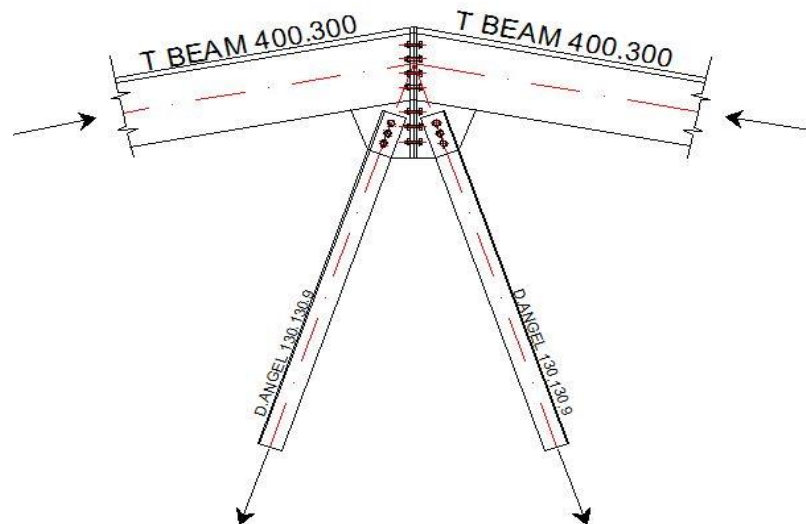
$$M_u = 503,713 \quad \text{kN.m} = 503713000 \quad \text{N.mm}$$

$$S_{93} = 87714,45 \quad \text{kg}$$

$$S_{92} = 8518,21 \quad \text{kg}$$

$$S_{95} = 8522,999 \quad \text{kg}$$

$$S_{93} \text{ dan } S_{96} = 87714,45 \quad \text{kg}$$



$$S_{92} = 8518,21 \quad \text{kg} \quad S_{95} = 8522,999 \quad \text{kg}$$

Gambar 4.63. Skema Penyambungan kolom balok

Dimensi Lubang Baut = 0,30 cm

Digunakan baut A325

$$\begin{aligned} \text{Kekuatan tarik baut } F_{nt} &= 620 \quad \text{Mpa} \\ &= 6200 \quad \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan tarik pelat } F_{nv} &= 372 \quad \text{Mpa} \\ &= 3720 \quad \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Diameter baut} &= A325 = 0,300 \text{ cm} \\
\text{Luas penampang baut (A}_b\text{)} &= 1/4 \cdot 3,14 \cdot 0,300^2 \\
&= 7,065 \text{ cm}^2 \\
\text{Jarak tepi baut diambil} &= 1,5 d_b - 3 d_b \\
\text{Jarak minimum} &= 1,5 \cdot 0,300 = 0,45 \text{ cm} \\
\text{Jarak maksimal} &= 3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm} \\
\text{Diambil jarak tepi baut} &= 0,60 \text{ cm} \\
\text{Jarak antar baut} &= 3 d_b - 7 d_b \\
\text{Jarak minimum} &= 3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm} \\
\text{Jarak maksimal} &= 7 \cdot 0,300 = 2,10 \text{ cm} \\
\text{Jarak antar lubang baut} &= 1,00 \text{ cm}
\end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tarik (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned}
R_n &= F_{nt} \cdot A_b \\
&= 6200 \cdot 7,065 \\
&= 43803,00 \text{ kg} \\
\phi R_n &= 0,75 \cdot 43803,0 \\
&= 32852,25 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap geser (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned}
R_n &= F_{nv} \cdot A_b \cdot M \\
&= 3720 \cdot 7,07 \cdot 1 \\
&= 26281,8 \text{ kg} \\
\phi R_n &= 0,75 \cdot 26281,8 \\
&= 19711,350 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tumpu (*SNI 1729:2015 hal 132*)

$$\begin{aligned}
\text{Tebal plat penyambung } t_p &= 1 \text{ cm} \\
R_n &= 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u \\
&= 2,4 \cdot 26,00 \cdot 14,000 \cdot 500,0 \\
&= 436800 \text{ kg} \\
\phi R_n &= 0,75 \cdot 436800
\end{aligned}$$

$$= 327600,00$$

Diambil yang terkecil adalah akibat tumpu sebesar $= 19711 \text{ kg}$

Jumlah baut yang dibutuhkan

Pada batang S_{93} dan S_{96}

$$\begin{aligned} n &= \frac{S_{93} \text{ dan } S_{96}}{\phi R_n} \\ &= \frac{87714,451}{19711,4} \\ &= 4,450 \text{ buah} \approx 7 \text{ buah baut} \end{aligned}$$

Diambil $= 7 \text{ buah baut}$

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned} f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\ &= \frac{87714,451}{7} \leq 19711,4 \cdot 7 \\ &= 12530,636 \text{ kg/cm}^2 \leq 137979,45 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

a. Jumlah baut yang dibutuhkan

Pada batang S_{92}

$$\begin{aligned} n &= \frac{S_{92}}{\phi R_n} \\ &= \frac{8518,210}{19711,4} \\ &= 0,432 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut} \end{aligned}$$

Diambil $= 3 \text{ buah baut}$

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned} f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\ &= \frac{8518,210}{1} \leq 19711,4 \cdot 1 \end{aligned}$$

$$= 8518,210 \text{ kg/cm}^2 \leq 19711,35 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan

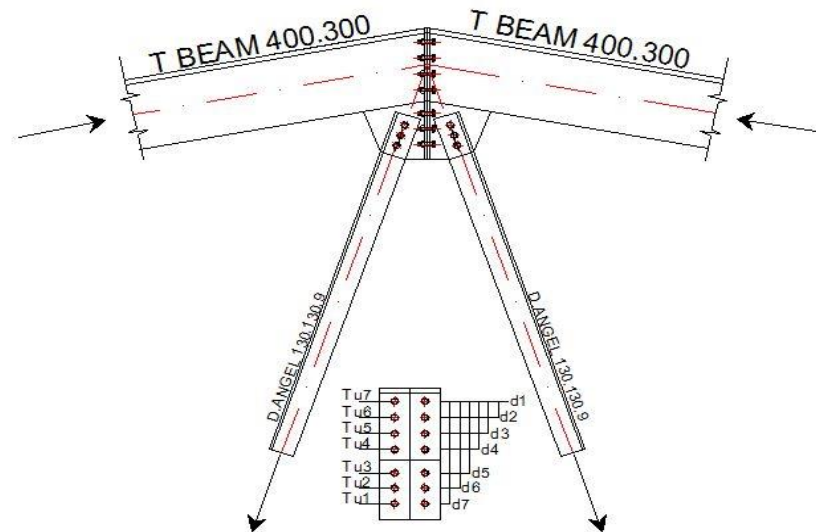
Pada batang S_{95}

$$\begin{aligned} n &= \frac{S_{95}}{\phi R_n} \\ &= \frac{8522,999}{19711,4} \\ &= 0,432 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut} \end{aligned}$$

$$\text{Diambil} = 3 \text{ buah baut}$$

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned} f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\ &= \frac{8522,999}{1} \leq 19711,4 \cdot 1 \\ &= 8522,999 \text{ kg/cm}^2 \leq 19711,35 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK} \end{aligned}$$



Gambar 4.64. Diagram tegangan baut

Jarak baut (di)

$$d1 = 10,00 \text{ cm}$$

$$d3 = 50,00 \text{ cm}$$

$$d2 = 20,00 \text{ cm}$$

$$d4 = 60,00 \text{ cm}$$

$$d2 = 30,00 \text{ cm}$$

$$d2 = 70,00 \text{ cm}$$

$$d2 = 40,00 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} di &= \left[d1 + d2 + d3 + d4 + d5 + d6 + d7 \right] \\ &= \left[\begin{array}{ccccccc} 100 & + & 200 & + & 300 & + & 400 & + & 200 & + \\ & & 300 & + & 400 & & & & & \end{array} \right] \\ &= 700 \text{ cm} \end{aligned}$$

Kontrol terhadap tarik baut

Gaya Tarik Perlu (pada 2 baut dalam 1 baris)

$$Tu1 = \frac{Mu \times d4}{dt^2} = \frac{87714,451 \times 70}{(100)^2} = 614,0012 \text{ kg}$$

$$Tu2 = \frac{Mu \times d4}{dt^2} = \frac{87714,451 \times 60}{(100)^2} = 526,2867 \text{ kg}$$

$$Tu3 = \frac{Mu \times d4}{dt^2} = \frac{87714,451 \times 50}{(100)^2} = 438,5723 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
Tu4 &= \frac{\mu \times d4}{dt^2} = \frac{87714,451 \times 40}{(100)^2} = 350,8578 \text{ kg} \\
Tu5 &= \frac{\mu \times d4}{dt^2} = \frac{87714,451 \times 30}{(100)^2} = 263,1434 \text{ kg} \\
Tu6 &= \frac{\mu \times d4}{dt^2} = \frac{87714,451 \times 20}{(100)^2} = 175,4289 \text{ kg} \\
Tu7 &= \frac{\mu \times d4}{dt^2} = \frac{87714,451 \times 10}{(100)^2} = 87,71445 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Gaya Tarik pada baut

$$\begin{aligned}
T_b &= A_b \times f_{ub} \\
&= 7,07 \times 6200 \\
&= 43803 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_d &= \phi T_b \\
&= 0,75 \times 43803 \\
&= 32852,25 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Karena dalam 1 baris terdiri 2 baut, maka

$$\begin{aligned}
Td_2 &= 2 \times T_d \\
&= 2 \times 32852,25 \\
&= 65704,5 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Tu2 &= 614,001158 < 65704,5 \text{ OK} \\
Tu3 &= 526,286707 < 65704,5 \text{ OK} \\
Tu4 &= 438,572256 < 65704,5 \text{ OK} \\
Tu5 &= 350,857804 < 65704,5 \text{ OK} \\
Tu6 &= 263,143353 < 526,28671 \text{ OK} \\
Tu7 &= 175,428902 < 526,28671 \text{ OK} \\
Tu8 &= 87,7144511 < 526,28671 \text{ OK}
\end{aligned}$$

Kontrol kekuatan baut terhadap momen

$$\text{Kuat nominal 1 baut terhadap tarik } T_d = 32852,25 \text{ kg}$$

$$\text{Garis netral diasumsikan } < S_1 = 10 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \Sigma T &= T_{u1} + T_{u2} + T_{u3} + T_{u4} \\ &= 614,001158 + 526,28671 + 438,57226 + 438,5723 + \\ &\quad 350,857804 + 263,14335 + 175,4289 + 87,71445 \\ &= 2894,57689 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$T_{d2} \times d_1 = 65704,5 \times 10 = 657045 \text{ kg.cm}$$

$$T_{d2} \times d_2 = 65704,5 \times 20 = 1314090 \text{ kg.cm}$$

$$T_{d2} \times d_3 = 65704,5 \times 30 = 1971135 \text{ kg.cm}$$

$$T_{d2} \times d_4 = 65704,5 \times 40 = 2628180 \text{ kg.cm}$$

$$T_{d2} \times d_5 = 65704,5 \times 50 = 3285225 \text{ kg.cm}$$

$$T_{d2} \times d_6 = 65704,5 \times 60 = 3942270 \text{ kg.cm}$$

$$T_{d2} \times d_7 = 65704,5 \times 70 = 4599315 \text{ kg.cm}$$

$$\sum_{i=1}^n T_d \cdot d_i = 18397260 \text{ kg.cm}$$

Garis netral pada pelat siku (a)

$$\begin{aligned} a &= \frac{\Sigma T}{f_y \times b} = \frac{2894,576887}{2900 \times 30} \\ &= 0,033 \text{ cm} < S_1 = 10 \text{ cm, maka asumsi benar} \end{aligned}$$

Momen rencana

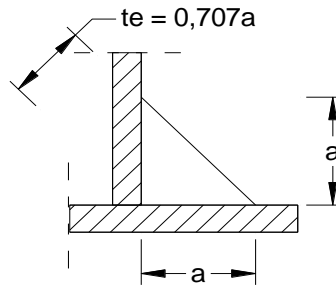
$$\begin{aligned} \phi M_n &= \frac{0,9 \times f_y \times a^2 \times b}{2} + \sum_{i=1}^n T_d \cdot d_i \\ \phi M_n &= \frac{0,9 \times 2900 \times 0,7 \times 30}{2} + 18397260 \\ &= 18417051,15 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

Kontrol Momen

$$\phi M_n \text{ Baut} \geq M_u$$

$$18417051,15 \text{ kg.cm} > 87714,45 \text{ kg.cm} \quad \text{OK}$$

b. Las Sudut



Gambar 4.65. Skema Sambungan Las

Persyaratan ukuran Las

(SNI 1729:2015, hal 116)

Tebal plat minimum yang disambung 14 mm

ukuran minimum las sudut (a)

$$13 < 14 < 19 = 6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{ukuran maksimum las sudut} &= \text{tebal plat} - 2 \\ &= 14 - 2 \\ &= 12 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil las sudut 6 mm

Throat Efektif untuk las sudut

$$\begin{aligned} t_e &= 0,707 \times a \\ &= 0,707 \times 6 = 4,242 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang minimum las sudut

$$\begin{aligned} l_{min} &= 4 \times a \\ &= 4 \times 6 = 24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai elektroda 60 :

$$\text{Tegangan Leleh las } f_{exx} = 3540 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan nominal dari logam las

$$\begin{aligned}
 f_{nw} &= 0,6 F_{exx} \left[1 + 0,5 \sin^{1,5} \theta \right] \\
 &= 0,6 \quad 3540 \left[1 + 0,5 \sin^{1,5} \times 45 \right] \\
 &= 2124 \times 1,35 \\
 &= 2875 \\
 &= 275,5467 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Kuat rencana las sudut

$$\begin{aligned}
 \phi R_{nw} &= \phi \times f_{nw} \times t_e \\
 &= 0,75 \times 276 \times 4,24 \\
 &= 438,33
 \end{aligned}$$

Panjang efektif las yang dibutuhkan L_w

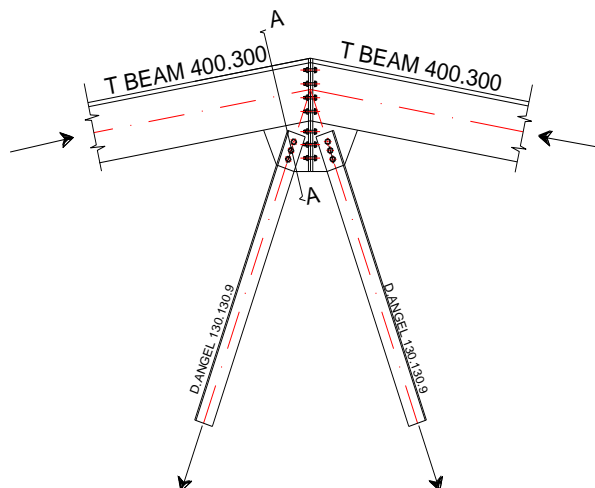
$$\begin{aligned}
 L_w &= \frac{8518,21}{438,33} \\
 &= 194 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Las terhadap tegangan tarik

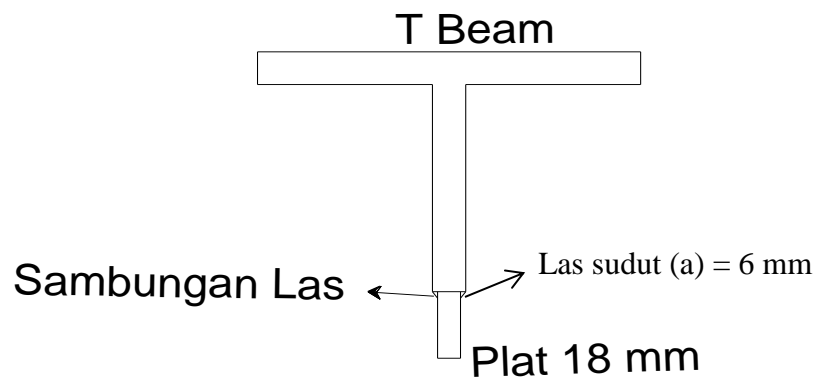
$$\begin{aligned}
 L_w &= \frac{S_{93}}{\phi R_{nw}} = \frac{87714,45}{438,33} = 200,1124
 \end{aligned}$$

$$L_w > l_{min}$$

$$200,1 \text{ mm} > 24 \text{ mm}$$



Gambar 4.66. Potongan Skema Sambungan Las

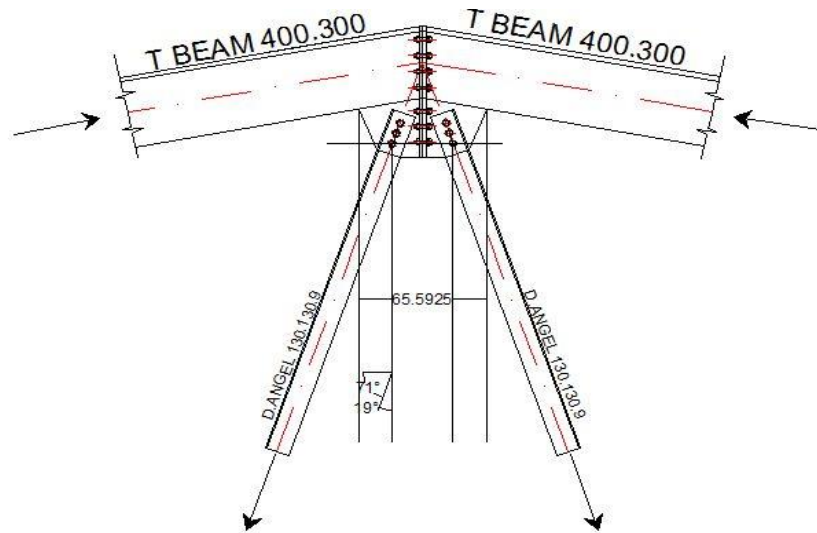


Gambar 4.67. Skema Sambungan Las

c. Perhitungan Plat Simpul

Pada batang S93 dan S96

$$S_{93} = 87714,45 \text{ kg}$$



$$S_{92} = 8518,21 \text{ kg}$$

$$S_{96} = 8522,999 \text{ kg}$$

Gambar 4.68. Skema Sambungan I

$$\begin{aligned} \text{Nut} &= \left[S_{92} \times \cos \alpha \right] + \left[S_{96} \times \cos \alpha \right] \\ &= 2773,257909 + 2774,817 \\ &= 5548,074964 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vu} &= \left[S_{92} \times \cos \alpha \right] + \left[S_{96} \times \cos \alpha \right] \\ &= 8054,125786 + 8058,654 \\ &= 16112,77966 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= \left[S_{92} \times \cos \alpha \right] \times \left[14,1 - 5,60 \right] - \left[S_{96} \times \cos \alpha \right] \\ &\quad \times \left[14,1 - 10,1 \right] \\ &= \left[2773,257909 \times 8,5 \right] - \left[2774,8171 \times 4,1 \right] \\ &= 12196,02026 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ag} &= t.h \\ &= 32,8 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_t.N_{nt} &= 0,9 \cdot F_y \cdot \text{Ag} \\ &= 0,9 \times 3720 \times 32,8 \\ &= 109814,4 \end{aligned}$$

$$Z = \frac{1}{4} \cdot t \cdot h^2 - A \text{ lubang} \times \text{jarak}$$

$$= \frac{1}{4} 2152 - 3,6$$

$$= 534,32 \text{ cm}$$

$$\Phi_b.M_n = 0,9 \cdot Z \cdot F_y$$

$$= 0,9 \times 534,32 \times 3720$$

$$= 1788903,36 \text{ kg/cm}$$

$$A_n = t \cdot h - A \text{ lubang}$$

$$= 32,500 \text{ cm}$$

$$\Phi_v.V_n = 0,75 (0,6 \cdot A_n \cdot F_u)$$

$$= 0,75 \times \left[0,6 \times 32,500 \times 6200 \right]$$

$$= 90675,000 \text{ kg/cm}$$

kontrol pelat simpul

$$\left(\left(\frac{N_{ut}}{\Phi_t.N_{nt}} \right) + \left(\frac{M_n}{\Phi_b.M_n} \right)^{2'} \right) + \left(\frac{V_u}{\Phi_v.V_n} \right)^{2'} < 1$$

$$\left(\left(\frac{5548,075}{109814,4} \right) + \left(\frac{12196,02}{1788903,4} \right)^{2'} \right) + \left(\frac{16112,78}{90675,00} \right)^{2'} < 1$$

$$0,082 < 1$$

OK

Jadi pelat simpul kuat.

d. Pelat Ujung (End Plate)

Menurut AISC hal 10-25 perencanaan tebal pelat ujung sebagai berikut :

$$t_{min} = \sqrt{\frac{4 \times M_{eu}}{\phi \times F_y \times b_p}}$$

$C_a = 1,36$ (AISC Tabel 10-1)

$$b_p = b_f + 25,4 \text{ mm} = 400 + = 425,4 \text{ mm}$$

$$C_b = \sqrt{\frac{b_f}{b_p}} = \sqrt{\frac{400}{425}} = 0,97$$

$$d_b = \text{dimensi baut} = 30 \text{ mm}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$p_f = \text{jarak pusat ke tepi} - t_f$$

$$= 150 - 18$$

$$= 124 \text{ mm}$$

$$p_e = p_f - \frac{d_b}{4} \text{ Lebar kaki las}$$

$$= 132 - (30/4) - 6$$

$$= 110,5 \text{ mm}$$

Luas sayap pada balok tarik (A_f)

$$A_f = b_f \times t_2$$

$$= 400 \times 28$$

$$= 11200 \text{ mm}^2$$

Luas bersih (A_w)

$$A_w = (h - 2t_2) \times t_w$$

$$= (400 - 2 \times 28) \times 26$$

$$= 8944 \text{ mm}^2$$

$$a_m = C_a \times C_b \left(\frac{A_f}{A_w} \right)^{1/3} \times \left(\frac{p_e}{d_b} \right)^{1/3}$$

$$a_m = 1,36 \times 0,97948 \times \left(\frac{11200}{8944} \right)^{1/3} \times \left(\frac{110,5}{30} \right)^{1/3}$$

$$= 0,68$$

Gaya terfaktor pada sayap (P_{uf})

$$\begin{aligned}
 P_{uf} &= \frac{M_u}{h - t_f} \\
 &= \frac{503713000}{400 - 28} = 1354067,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Momen Pelat Ujung (M_{eu})

$$\begin{aligned}
 M_{eu} &= x \cdot p_{uf} \cdot x \cdot \frac{p_e}{4} \\
 &= 0,68 \cdot 1354067,204 \cdot x \cdot \frac{110,5}{4} \\
 &= 25536521 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Tebal Pelat Ujung Minimum (t_{min})

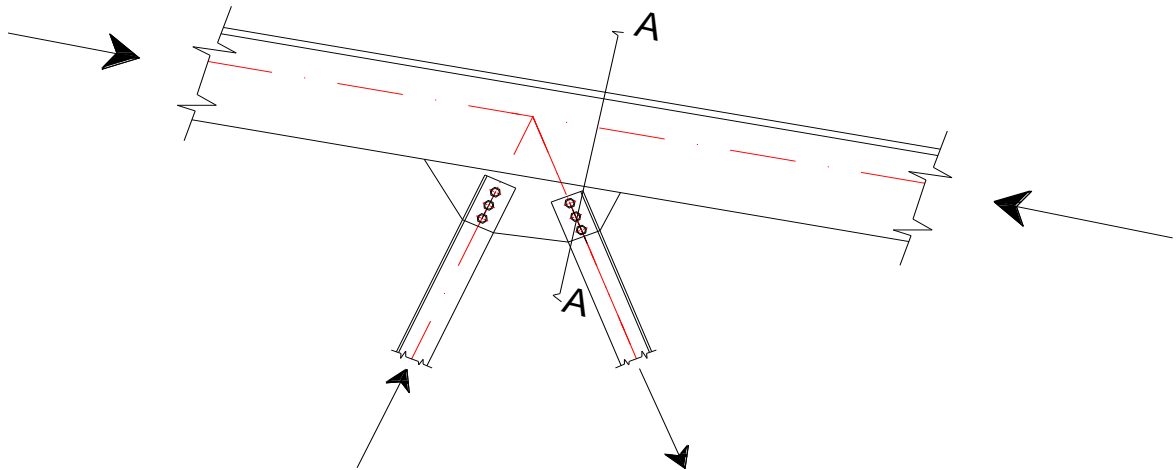
$$\begin{aligned}
 t_{min} &= \sqrt{\frac{4 \times M_{eu}}{\phi \times F_y \times b_p}} \\
 &= \sqrt{\frac{4 \times 25536521}{0,9 \times 290 \times 425,4}} \\
 &= 30,3314 \text{ mm} \sim 30 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi Tebal pelat yang digunakan untuk sambungan E adalah 30 mm.

4.14 Sambungan Tengah

Diketahui :

$$S_{163} = 23796,577 \text{ kg}$$



$$S_{164} = 203,968 \text{ kg}$$

$$S_{161} = 120,7 \text{ kg}$$

Gambar 4.39. Skema Penyambungan kolom balok

Dimensi Lubang Baut = 33 mm

Digunakan baut A325

$$\begin{aligned} \text{Kekuatan tarik baut } F_{nt} &= 620 \text{ Mpa} \\ &= 6200 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan tarik pelat } F_{nv} &= 372 \text{ Mpa} \\ &= 3720 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter baut} = A325 = 0,300 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang baut } (A_b) &= 1/4 \cdot 3,14 \cdot 0,300^2 \\ &= 3,14 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tepi baut diambil} = 1,5 d_b - 3 d_b$$

$$\text{Jarak minimum} = 1,5 \cdot 0,300 = 0,45 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak maksimal} = 3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
\text{Diambil jarak tepi baut} &= 2,50 \text{ cm} \\
\text{Jarak antar baut} &= 3 d_b - 7 d_b \\
\text{Jarak minimum} &= 3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm} \\
\text{Jarak maksimal} &= 7 \cdot 0,300 = 2,10 \text{ cm} \\
\text{Jarak antar lubang baut} &= 6,00 \text{ cm}
\end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tarik (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned}
R_n &= F_{nt} \cdot A_b \\
&= 6200 \cdot 1,00 \cdot 1,0 \cdot 3,140 \\
&= 19468,00 \text{ kg} \\
\phi R_n &= 0,75 \cdot 19468,0 \\
&= 14601,00 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap geser (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned}
R_n &= F_{nv} \cdot A_b \cdot M \\
&= 3720 \cdot 3,14 \cdot 1 \\
&= 11680,8 \text{ kg} \\
\phi R_n &= 0,75 \cdot 11680,8 \\
&= 8760,600 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tumpu (*SNI 1729:2015 hal 132*)

$$\begin{aligned}
\text{Tebal plat penyambung } t_p &= 1 \text{ cm} \\
R_n &= 2,0 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u \\
&= 2,0 \cdot 26,00 \cdot 14,000 \cdot 500,0 \\
&= 364000 \text{ kg} \\
\phi R_n &= 0,75 \cdot 364000 \\
&= 273000,00
\end{aligned}$$

$$\text{Diambil yang terkecil adalah akibat tumpu sebesar} = 8761 \text{ kg}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan

Pada batang S_{164}

$$\begin{aligned}n &= \frac{S_{164}}{\phi Rn} \\&= \frac{203,968}{8760,6} \\&= 0,023 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah baut}\end{aligned}$$

$$\text{Diambil} = 4 \text{ buah baut}$$

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi Rn \cdot N \\&= \frac{203,968}{4} \leq 8760,6 \cdot 4 \\&= 50,992 \text{ kg/cm}^2 \leq 35042,40 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

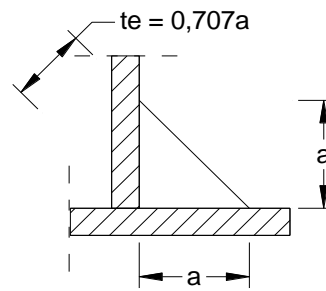
Pada batang S_{161}

$$\begin{aligned}n &= \frac{S_{161}}{\phi Rn} \\&= \frac{120,729}{8760,600} \\&= 0,014 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah baut}\end{aligned}$$

$$\text{Diambil} = 3 \text{ buah baut}$$

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi Rn \cdot N \\&= \frac{120,729}{3} \leq 8760,6 \cdot 3 \\&= 40,243 \text{ kg/cm}^2 \leq 26281,80 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

b. Las Sudut



Gambar 4.39. Skema Sambungan Las

Persyaratan ukuran Las

(SNI 1729:2015, hal 116)

Tebal plat minimum yang disambung 14 mm

ukuran minimum las sudut (a)

$$13 < 14 < 19 = 6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{ukuran maksimum las sudut} &= \text{tebal plat} - 2 \\ &= 18 - 2 \\ &= 16 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil las sudut 6 mm

Throat Efektif untuk las sudut

$$\begin{aligned} te &= 0,707 \times a \\ &= 0,707 \times 6 = 4,242 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang minimum las sudut

$$\begin{aligned} l_{min} &= 4 \times a \\ &= 4 \times 6 = 24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai elektroda 60 :

$$\text{Tegangan Leleh las } f_{exx} = 3540 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan nominal dari logam las

$$\begin{aligned} f_{nw} &= 0,6 f_{exx} \left[1 + 0,5 \sin^{1,5} \Theta \right] \\ &= 0,6 \times 3540 \left[1 + 0,5 \sin^{1,5} 45^\circ \right] \\ &= 2124 \times 1,35 \\ &= 2875 \end{aligned}$$

$$= 275,5467 \text{ Mpa}$$

Kuat rencana las sudut

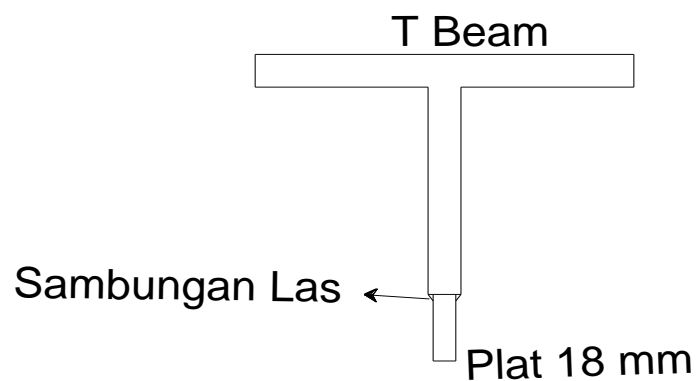
$$\begin{aligned}\phi R_{nw} &= \phi \times f_{nw} \times t_e \\ &= 0,75 \times 276 \times 4,24 \\ &= 438,33\end{aligned}$$

Panjang efektif las yang dibutuhkan L_w

$$\begin{aligned}L_w &= \frac{23796,58}{438,33} \\ &= 54,3 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kontrol Las terhadap tegangan tarik

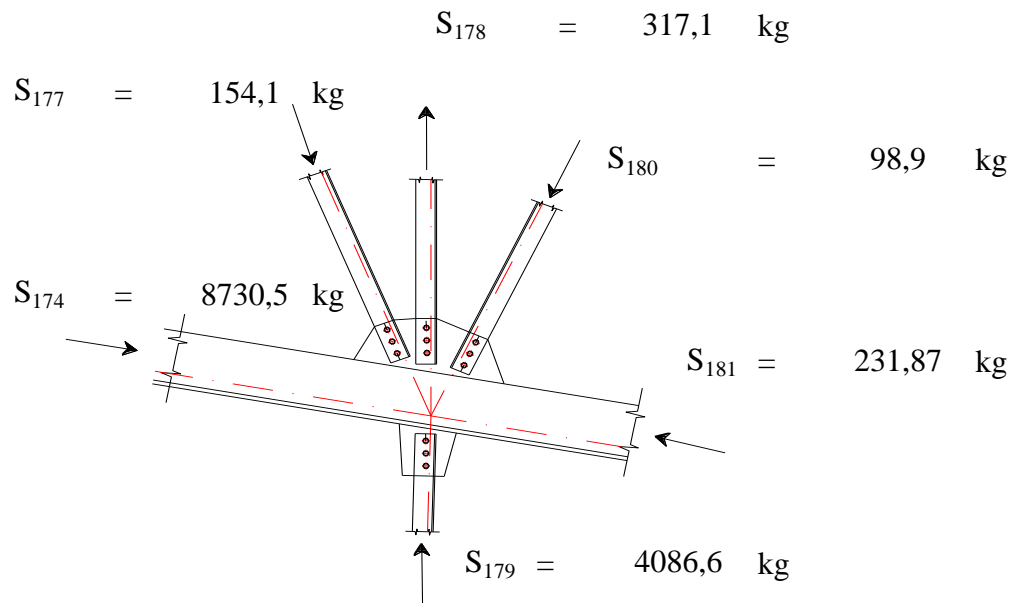
$$\begin{aligned}L_w &= \frac{S_{163}}{\phi R_{nw}} = \frac{23796,58}{438,33} = 54,2896879 \\ L_w &> l_{min} \\ 54,29 \text{ mm} &> 24 \text{ mm}\end{aligned}$$



Gambar 4.1. 1. Potongan Skema Sambungan Las

Sambungan Tepi 4

Diketahui :



Gambar 4.49. Skema Penyambungan

Dimensi Lubang Baut = 33 mm

Digunakan baut A325

$$\begin{aligned} \text{Kekuatan tarik baut } F_{nt} &= 620 \text{ Mpa} \\ &= 6200 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan tarik pelat } F_{nv} &= 372 \text{ Mpa} \\ &= 3720 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter baut} = A325 = 0,300 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang baut } (A_b) &= 1/4 \cdot 3,14 \cdot 0,300^2 \\ &= 3,14 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tepi baut diambil} = 1,5 d_b - 3 d_b$$

$$\text{Jarak minimum} = 1,5 \cdot 0,300 = 0,45 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak maksimal} = 3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm}$$

$$\text{Diambil jarak tepi baut} = 0,60 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar baut} = 3 d_b - 7 d_b$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak minimum} &= 3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm} \\
 \text{Jarak maksimal} &= 7 \cdot 0,300 = 2,10 \text{ cm} \\
 \text{Jarak antar lubang baut} &= 1,00 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tarik (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nt} \cdot A_b \\
 &= 6200 \cdot 3,140 \\
 &= 19468,00 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0,75 \cdot 19468,0 \\
 &= 14601,00 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap geser (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nv} \cdot A_b \cdot M \\
 &= 3720 \cdot 3,14 \cdot 1 \\
 &= 11680,8 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0,75 \cdot 11680,8 \\
 &= 8760,600 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tumpu (*SNI 1729:2015 hal 132*)

$$\text{Tebal plat penyambung } t_p = 1 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2,0 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u \\
 &= 2,4 \cdot 26,00 \cdot 14,000 \cdot 500,0 \\
 &= 436800 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0,75 \cdot 436800 \\
 &= 327600,0
 \end{aligned}$$

$$\text{Diambil yang terkecil adalah akibat tumpu sebesar} = 8761 \text{ kg}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan

Pada batang S_{177}

$$\begin{aligned}n &= \frac{S_{177}}{\phi R_n} \\&= \frac{154,100}{8760,6} \\&= 0,018 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut}\end{aligned}$$

Diambil = 3 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\&= \frac{154,100}{3} \leq 8760,6 \cdot 3 \\&= 51,367 \text{ kg/cm}^2 \leq 26281,80 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Pada batang S_{178}

$$\begin{aligned}n &= \frac{S_{178}}{\phi R_n} \\&= \frac{317,110}{8760,6} \\&= 0,036 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut}\end{aligned}$$

Diambil = 3 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\&= \frac{317,110}{3} \leq 8760,6 \cdot 3 \\&= 105,703 \text{ kg/cm}^2 \leq 26281,80 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Pada batang S₁₈₀

$$\begin{aligned}n &= \frac{S_{180}}{\phi Rn} \\&= \frac{98,900}{8760,6} \\&= 0,011 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut}\end{aligned}$$

Diambil = 3 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi Rn \cdot N \\&= \frac{98,900}{3} \leq 8760,6 \cdot 3 \\&= 32,967 \text{ kg/cm}^2 \leq 26281,80 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Pada batang S₁₇₉

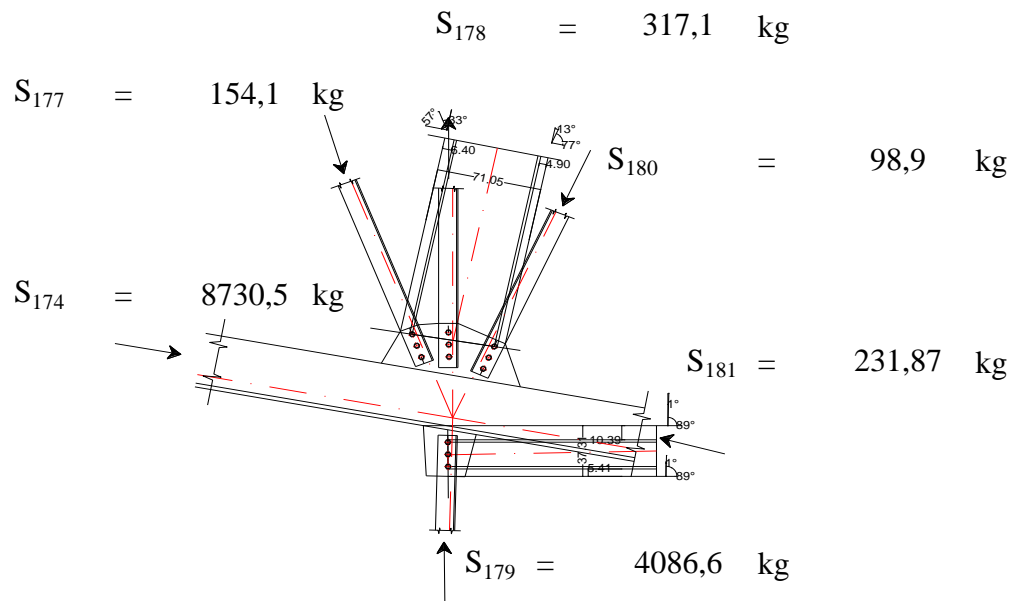
$$\begin{aligned}n &= \frac{S_{179}}{\phi Rn} \\&= \frac{4086,600}{8760,6} \\&= 0,466 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut}\end{aligned}$$

Diambil = 3 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi Rn \cdot N \\&= \frac{4086,600}{3} \leq 8760,6 \cdot 3 \\&= 1362,200 \text{ kg/cm}^2 \leq 26281,80 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Perhitungan Plat Simpul



Gambar 4.50. Skema Penyambungan

$$\begin{aligned}
 \text{Nut} &= \left(S_{177} \times \cos \alpha \right) + \left(S_{180} \times \cos \alpha \right) \\
 &= 129,2391345 + 96,3652 \\
 &= 225,6043339 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Vu} &= \left(S_{177} \times \cos \alpha \right) + \left(S_{180} \times \cos \alpha \right) \\
 &= 34,66495747 + 53,8648 \\
 &= 88,52975804 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mu} &= \left(S_{177} \times \cos \alpha \right) \times \left(30,0 - 5,00 \right) - \left(S_{180} \times \cos \alpha \right) \\
 &\quad \times \left(30,0 - 6,40 \right) \\
 &= \left(129,2391345 \times 25,0 \right) - \left(96,3652 \times 23,6 \right) \\
 &= 956,759657 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ag} &= t.h \\
 &= 1278 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi_t.Nnt &= 0,9 \cdot F_y \cdot \text{Ag} \\
 &= 0,9 \times 3720 \times 1278 \\
 &= 4278744
 \end{aligned}$$

$$Z = \frac{1}{4} \cdot t \cdot h^2 - A \text{ lubang} \times \text{jarak}$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 90738 - 3,6$$

$$= 22680,9 \text{ cm}$$

$$\Phi_b.M_n = 0,9 \cdot Z \cdot F_y$$

$$= 0,9 \cdot 22680,9 \cdot 3720$$

$$= 75935653,2 \text{ kg/cm}$$

$$A_n = t \cdot h - A \text{ lubang}$$

$$= 1277,7 \text{ cm}$$

$$\Phi_v.V_n = 0,75 (0,6 \cdot A_n \cdot F_u)$$

$$= 0,75 \cdot \left[0,6 \cdot 1277,700 \cdot 6200 \right]$$

$$= 3564783,000 \text{ kg/cm}$$

kontrol pelat simpul

$$\left(\left(\frac{N_{ut}}{\Phi_t.N_{nt}} \right) + \left(\frac{M_n}{\Phi_b.M_n} \right)^{2'} \right) + \left(\frac{V_u}{\Phi_v.V_n} \right)^{2'} < 1$$

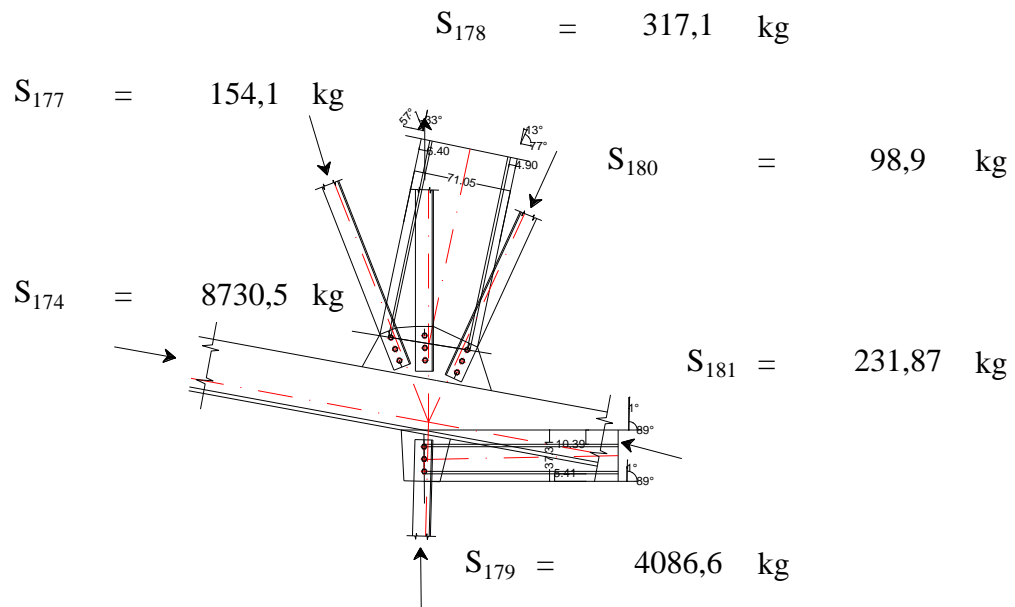
$$\left(\left(\frac{225,6043}{4278744} \right) + \left(\frac{956,7597}{75935653} \right)^{2'} \right) + \left(\frac{88,52976}{3564783} \right)^{2'} < 1$$

$$5,27E-05 < 1$$

OK

Jadi pelat simpul kuat.

Perhitungan Plat Simpul



Gambar 4.51. Skema Penyambungan

$$\begin{aligned} \text{Nut} &= \left(S_{179} \times \cos \alpha \right) + \left(S_{181} \times \cos \alpha \right) \\ &= 71,32100415 + 231,8347 \\ &= 303,1556892 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vu} &= \left(S_{179} \times \cos \alpha \right) + \left(S_{181} \times \cos \alpha \right) \\ &= 4085,977591 + 4,046689 \\ &= 4090,024281 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= \left(S_{179} \times \cos \alpha \right) \times \left(30,0 - 5,00 \right) - \left(S_{181} \times \cos \alpha \right) \\ &\quad \times \left(30,0 - 6,40 \right) \\ &= \left(71,32100415 \times 25,0 \right) - \left(231,8347 \times 23,6 \right) \\ &= -3688,273464 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ag} &= t.h \\ &= 671,4 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_t.Nnt &= 0,9 \cdot F_y \cdot \text{Ag} \\ &= 0,9 \times 3720 \times 671 \\ &= 2247847,2 \end{aligned}$$

$$Z = \frac{1}{4} \cdot t \cdot h^2 - A \text{ lubang} \times \text{jarak}$$

$$= \frac{1}{4} 25043,22 - 3,6$$

$$= 6257,205 \text{ cm}$$

$$\Phi_b.M_n = 0,9 \cdot Z \cdot F_y$$

$$= 0,9 \times 6257,205 \times 3720$$

$$= 20949122,34 \text{ kg/cm}$$

$$A_n = t.h - A \text{ lubang}$$

$$= 671,1 \text{ cm}$$

$$\Phi_v.V_n = 0,75 (0,6 \cdot A_n \cdot F_u)$$

$$= 0,75 \times \left[0,6 \times 671,100 \times 6200 \right]$$

$$= 1872369,000 \text{ kg/cm}$$

kontrol pelat simpul

$$\left(\left(\frac{N_{ut}}{\Phi_t.N_{nt}} \right) + \left(\frac{M_n}{\Phi_b.M_n} \right)^{2'} \right) + \left(\frac{V_u}{\Phi_v.V_n} \right)^{2'} < 1$$

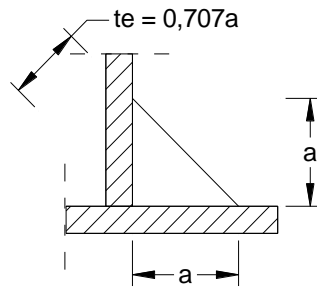
$$\left(\left(\frac{303,1557}{2247847} \right) + \left(\frac{-3688,273}{20949122} \right)^{2'} \right) + \left(\frac{4090,024}{1872369} \right)^{2'} < 1$$

$$1,4E-04 < 1$$

OK

Jadi pelat simpul kuat.

Las Sudut



Gambar 4.57. Skema Sambungan Las

Persyaratan ukuran Las

(SNI 1729:2015, hal 116)

Tebal plat minimum yang disambung 14 mm

ukuran minimum las sudut (a)

$$13 < 14 < 19 = 6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{ukuran maksimum las sudut} &= \text{tebal plat} - 2 \\ &= 18 - 2 \\ &= 16 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil las sudut 6 mm

Throat Efektif untuk las sudut

$$\begin{aligned} te &= 0,707 \times a \\ &= 0,707 \times 6 = 4,242 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang minimum las sudut

$$\begin{aligned} l_{min} &= 4 \times a \\ &= 4 \times 6 = 24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai elektroda 60 :

$$\text{Tegangan Leleh las } f_{exx} = 3540 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan nominal dari logam las

$$\begin{aligned} f_{nw} &= 0,6 F_{exx} \left[1 + 0,5 \sin^{1,5} \Theta \right] \\ &= 0,6 \times 3540 \left[1 + 0,5 \sin^{1,5} 45^\circ \right] \\ &= 2124 \times 1,4 \end{aligned}$$

$$2875$$

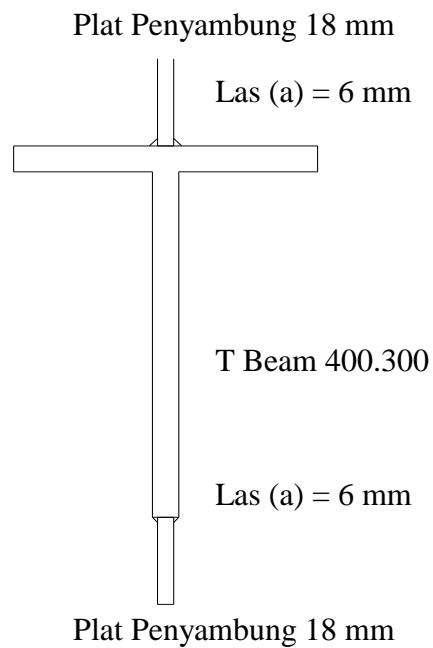
$$= 275,5467 \text{ Mpa}$$

Kuat rencana las sudut

$$\begin{aligned}\phi R_{nw} &= \phi \times f_{nw} \times t_e \\ &= 0,75 \times 276 \times 4,24 \\ &= 292,22\end{aligned}$$

Kontrol Las terhadap tegangan tarik

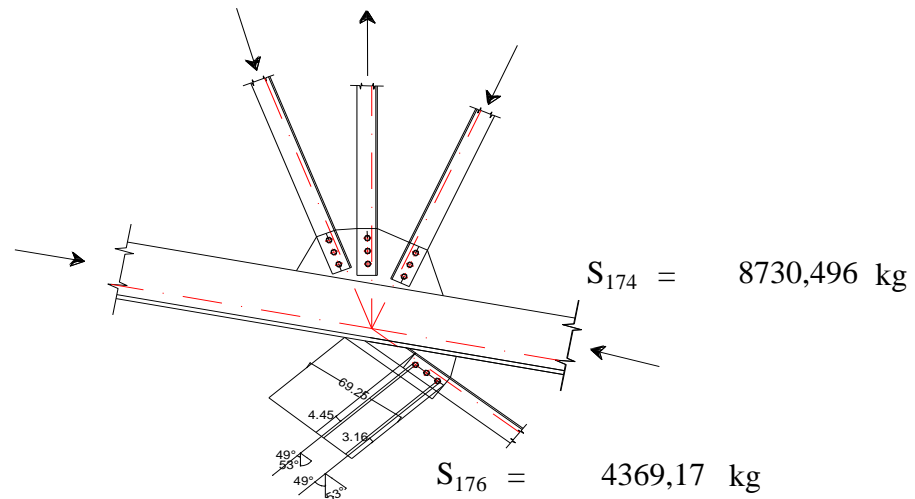
$$\begin{aligned}L_w &= \frac{V_u}{\phi R_{nw}} = \frac{8730,50}{292,22} = 29,87674 \\ L_w &> l_{min} \\ 29,8767 \text{ mm} &> 24 \text{ mm}\end{aligned}$$



Gambar 4.58 Potongan Skema Sambungan Las

Sambungan Tepi 5

Diketahui :



Gambar 4.55. Skema Penyambungan

Dimensi Lubang Baut = 33 mm

Digunakan baut A325

$$\begin{aligned}\text{Kekuatan tarik baut } F_{nt} &= 620 \text{ Mpa} \\ &= 6200 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan tarik pelat } F_{nv} &= 372 \text{ Mpa} \\ &= 3720 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Diameter baut} = \text{A325} = 0,300 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas penampang baut } (A_b) &= 1/4 \cdot 3,14 \cdot 0,300^2 \\ &= 3,14 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Jarak tepi baut diambil} = 1,5 d_b - 3 d_b$$

$$\text{Jarak minimum} = 1,5 \cdot 0,300 = 0,45 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak maksimal} = 3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm}$$

$$\text{Diambil jarak tepi baut} = 0,60 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar baut} = 3 d_b - 7 d_b$$

$$\text{Jarak minimum} = 3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak maksimal} = 7 \cdot 0,300 = 2,10 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar lubang baut} = 1,00 \text{ cm}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tarik (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nt} \cdot A_b \\
 &= 6200 \cdot 3,140 \\
 &= 19468,00 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0,75 \cdot 19468,0 \\
 &= 14601,00 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap geser (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nv} \cdot A_b \cdot M \\
 &= 3720 \cdot 3,14 \cdot 1 \\
 &= 11680,8 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0,75 \cdot 11680,8 \\
 &= 8760,600 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tumpu (*SNI 1729:2015 hal 132*)

Tebal plat penyambung $t_p = 1 \text{ cm}$

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2,0 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u \\
 &= 2,4 \cdot 26,00 \cdot 14,000 \cdot 500,0 \\
 &= 436800 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0,75 \cdot 436800 \\
 &= 327600,0
 \end{aligned}$$

Diambil yang terkecil adalah akibat tumpu sebesar $= 8761 \text{ kg}$

Jumlah baut yang dibutuhkan

Pada batang S_{174}

$$\begin{aligned}n &= \frac{S_{174}}{\phi R_n} \\&= \frac{8730,496}{8760,6} \\&= 0,997 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut}\end{aligned}$$

Diambil = 3 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\&= \frac{8730,496}{3} \leq 8760,6 \cdot 3 \\&= 2910,165 \text{ kg/cm}^2 \leq 26281,80 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Pada batang S_{176}

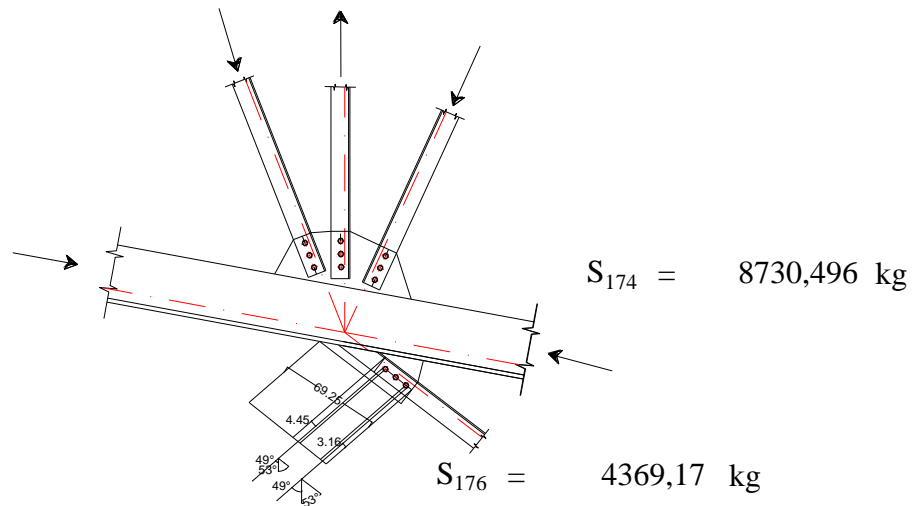
$$\begin{aligned}n &= \frac{S_{176}}{\phi R_n} \\&= \frac{4369,170}{8760,6} \\&= 0,499 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut}\end{aligned}$$

Diambil = 3 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\&= \frac{4369,170}{3} \leq 8760,6 \cdot 3 \\&= 1456,390 \text{ kg/cm}^2 \leq 26281,80 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Perhitungan Plat Simpul



Gambar 4.56. Skema Penyambungan

$$\begin{aligned} \text{Nut} &= \left(S_{174} \times \cos \alpha \right) + \left(S_{176} \times \cos \alpha \right) \\ &= 5254,143652 + 2866,433 \\ &= 8120,57708 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vu} &= \left(S_{177} \times \cos \alpha \right) + \left(S_{180} \times \cos \alpha \right) \\ &= 5727,720728 + 2629,432 \\ &= 8357,152873 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= \left(S_{177} \times \cos \alpha \right) \times \left(30,0 - 5,00 \right) - \left(S_{180} \times \cos \alpha \right) \\ &\quad \times \left(30,0 - 6,40 \right) \\ &= \left(5254,143652 \times 25,0 \right) - \left(2866,433 \times 23,6 \right) \\ &= 63705,76242 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ag} &= t \cdot h \\ &= 1246,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_t \cdot \text{Nnt} &= 0,9 \cdot F_y \cdot \text{Ag} \\ &= 0,9 \times 3720 \times 1247 \\ &= 4173282 \end{aligned}$$

$$Z = \frac{1}{4} \cdot t \cdot h^2 - A_{\text{lubang}} \times \text{jarak}$$

$$= \frac{1}{4} 86320,13 - 3,6$$

$$= 21576,43125 \text{ cm}$$

$$\Phi_b.M_n = 0,9 \cdot Z \cdot F_y$$

$$= 0,9 \times 21576,43 \times 3720$$

$$= 72237891,83 \text{ kg/cm}$$

$$A_n = t \cdot h - A_{\text{lubang}}$$

$$= 1246,2 \text{ cm}$$

$$\Phi_v.V_n = 0,75 (0,6 \cdot A_n \cdot F_u)$$

$$= 0,75 \times \left[0,6 \times 1246,200 \times 6200 \right]$$

$$= 3476898,000 \text{ kg/cm}$$

kontrol pelat simpul

$$\left(\left(\frac{N_{ut}}{\Phi_t.N_{nt}} \right) + \left(\frac{M_n}{\Phi_b.M_n} \right)^{2'} \right) + \left(\frac{V_u}{\Phi_v.V_n} \right)^{2'} < 1$$

$$\left(\left(\frac{8120,577}{4173282} \right) + \left(\frac{63705,76}{72237892} \right)^{2'} \right) + \left(\frac{8357,153}{3476898} \right)^{2'} < 1$$

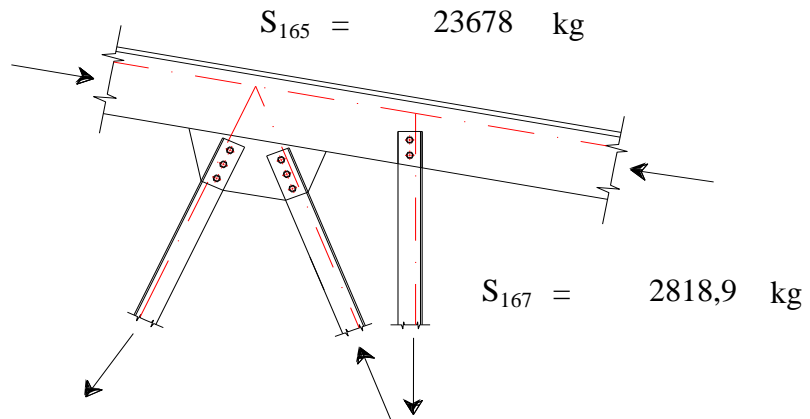
$$1,95E-03 < 1$$

OK

Jadi pelat simpul kuat.

Sambungan Tepi 6

Diketahui :



$$S_{163} = 120,1 \text{ kg} \quad S_{166} = 203,83 \text{ kg}$$

Gambar 4.59. Skema Penyambungan

Dimensi Lubang Baut = 33 mm

Digunakan baut A325

$$\begin{aligned} \text{Kekuatan tarik baut } F_{nt} &= 620 \text{ Mpa} \\ &= 6200 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan tarik pelat } F_{nv} &= 372 \text{ Mpa} \\ &= 3720 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter baut} = \text{A325} = 0,300 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang baut } (A_b) &= 1/4 \cdot 3,14 \cdot 0,300^2 \\ &= 3,14 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tepi baut diambil} = 1,5 d_b - 3 d_b$$

$$\text{Jarak minimum} = 1,5 \cdot 0,300 = 0,45 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak maksimal} = 3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm}$$

$$\text{Diambil jarak tepi baut} = 0,60 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar baut} = 3 d_b - 7 d_b$$

$$\text{Jarak minimum} = 3 \cdot 0,300 = 0,90 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak maksimal} = 7 \cdot 0,300 = 2,10 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar lubang baut} = 1,00 \text{ cm}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tarik (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nt} \cdot A_b \\
 &= 6200 \cdot 3,140 \\
 &= 19468,00 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0,75 \cdot 19468,0 \\
 &= 14601,00 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap geser (*SNI 1729:2015, hal 126*)

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nv} \cdot A_b \cdot M \\
 &= 3720 \cdot 3,14 \cdot 1 \\
 &= 11680,8 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0,75 \cdot 11680,8 \\
 &= 8760,600 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat nominal penyambung terhadap tumpu (*SNI 1729:2015 hal 132*)

Tebal plat penyambung $t_p = 1 \text{ cm}$

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2,0 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u \\
 &= 2,4 \cdot 26,00 \cdot 14,000 \cdot 500,0 \\
 &= 436800 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0,75 \cdot 436800 \\
 &= 327600,0
 \end{aligned}$$

Diambil yang terkecil adalah akibat tumpu sebesar $= 8761 \text{ kg}$

Jumlah baut yang dibutuhkan

Pada batang S_{163}

$$\begin{aligned}n &= \frac{S_{163}}{\phi R_n} \\&= \frac{120,100}{8760,6} \\&= 0,014 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut}\end{aligned}$$

Diambil = 3 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\&= \frac{120,100}{3} \leq 8760,6 \cdot 3 \\&= 40,033 \text{ kg/cm}^2 \leq 26281,80 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Pada batang S_{166}

$$\begin{aligned}n &= \frac{S_{166}}{\phi R_n} \\&= \frac{203,830}{8760,6} \\&= 0,023 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut}\end{aligned}$$

Diambil = 3 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\&= \frac{203,830}{3} \leq 8760,6 \cdot 3 \\&= 67,943 \text{ kg/cm}^2 \leq 26281,80 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Pada batang S_{167}

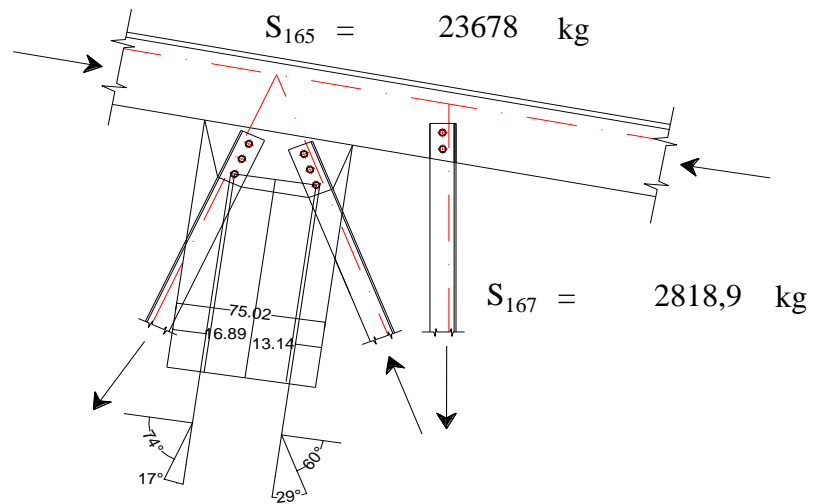
$$\begin{aligned}n &= \frac{S_{167}}{\phi R_n} \\&= \frac{2818,900}{8760,6} \\&= 0,322 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah baut}\end{aligned}$$

Diambil = 2 buah baut

Kontrol Kekuatan geser

$$\begin{aligned}f_{uv} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \cdot N \\&= \frac{2818,900}{2} \leq 8760,6 \cdot 2 \\&= 1409,450 \text{ kg/cm}^2 \leq 17521,20 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Perhitungan Plat Simpul



$$S_{163} = 120,1 \text{ kg} \quad S_{166} = 203,83 \text{ kg}$$

Gambar 4.60. Skema Penyambungan

$$\begin{aligned} \text{Nut} &= \left[S_{166} \times \cos \alpha \right] + \left[S_{163} \times \cos \alpha \right] \\ &= 178,2737349 + 114,8522 \\ &= 293,1259361 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vu} &= \left[S_{166} \times \cos \alpha \right] + \left[S_{163} \times \cos \alpha \right] \\ &= 101,915 + 33,10405 \\ &= 135,0190464 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= \left[S_{166} \times \cos \alpha \right] \times \left[22,5 - 13,0 \right] - \left[S_{163} \times \cos \alpha \right] \\ &\quad \times \left[22,5 - 16,9 \right] \\ &= \left[178,2737349 \times 9,5 \right] - \left[114,8522 \times 5,6 \right] \\ &= 1041,514468 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ag} &= \text{t.h} \\ &= 1350 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_t.Nnt &= 0,9 \cdot F_y \cdot \text{Ag} \\ &= 0,9 \times 3720 \times 1350 \\ &= 4519800 \end{aligned}$$

$$Z = \frac{1}{4} \cdot t \cdot h^2 - A \text{ lubang} \times \text{jarak}$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 101250 - 3,6$$

$$= 25308,9 \text{ cm}$$

$$\Phi_b.M_n = 0,9 \cdot Z \cdot F_y$$

$$= 0,9 \times 25308,9 \times 3720$$

$$= 84734197,2 \text{ kg/cm}$$

$$A_n = t \cdot h - A \text{ lubang}$$

$$= 1349,7 \text{ cm}$$

$$\Phi_v.V_n = 0,75 (0,6 \cdot A_n \cdot F_u)$$

$$= 0,75 \times \left[0,6 \times 1349,700 \times 6200 \right]$$

$$= 3765663,000 \text{ kg/cm}$$

kontrol pelat simpul

$$\left(\left(\frac{N_{ut}}{\Phi_t.N_{nt}} \right) + \left(\frac{M_n}{\Phi_b.M_n} \right)^{2'} \right) + \left(\frac{V_u}{\Phi_v.V_n} \right)^{2'} < 1$$

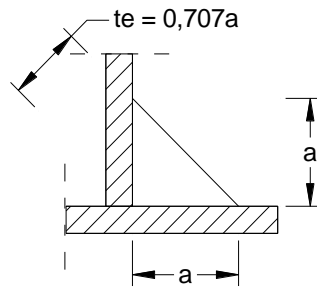
$$\left(\left(\frac{293,1259}{4519800} \right) + \left(\frac{1041,514}{84734197} \right)^{2'} \right) + \left(\frac{135,019}{3765663} \right)^{2'} < 1$$

$$6,49E-05 < 1$$

OK

Jadi pelat simpul kuat.

Las Sudut



Gambar 4.61. Skema Sambungan Las

Persyaratan ukuran Las

(SNI 1729:2015, hal 116)

Tebal plat minimum yang disambung 14 mm

ukuran minimum las sudut (a)

$$13 < 14 < 19 = 6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{ukuran maksimum las sudut} &= \text{tebal plat} - 2 \\ &= 18 - 2 \\ &= 16 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil las sudut 6 mm

Throat Efektif untuk las sudut

$$\begin{aligned} te &= 0,707 \times a \\ &= 0,707 \times 6 = 4,242 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang minimum las sudut

$$\begin{aligned} l_{min} &= 4 \times a \\ &= 4 \times 6 = 24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai elektroda 60 :

$$\text{Tegangan Leleh las } f_{exx} = 3540 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan nominal dari logam las

$$\begin{aligned} f_{nw} &= 0,6 f_{exx} \left[1 + 0,5 \sin^{1,5} \Theta \right] \\ &= 0,6 \times 3540 \left[1 + 0,5 \sin^{1,5} 45^\circ \right] \\ &= 2124 \times 1,4 \\ &= 2875 \end{aligned}$$

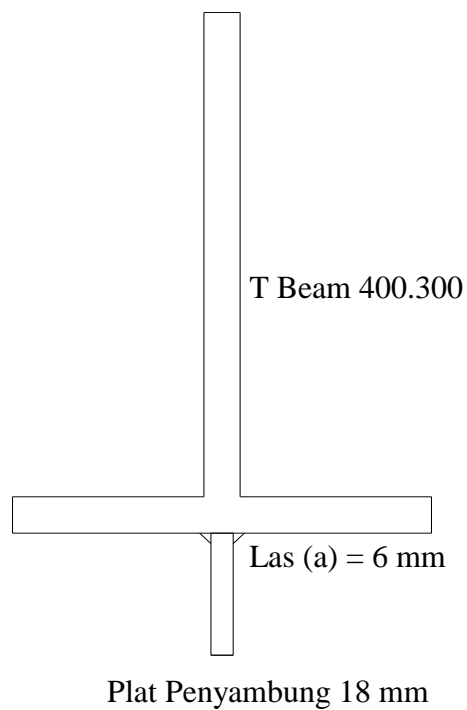
$$= 275,5467 \text{ Mpa}$$

Kuat rencana las sudut

$$\begin{aligned}\phi R_{nw} &= \phi \times f_{nw} \times t_e \\ &= 0,75 \times 276 \times 4,24 \\ &= 438,33\end{aligned}$$

Kontrol Las terhadap tegangan tarik

$$\begin{aligned}L_w &= \frac{V_u}{\phi R_{nw}} = \frac{0,00}{438,33} = 0 \\ L_w &> l_{min} \\ 0 \text{ mm} &> 24 \text{ mm}\end{aligned}$$



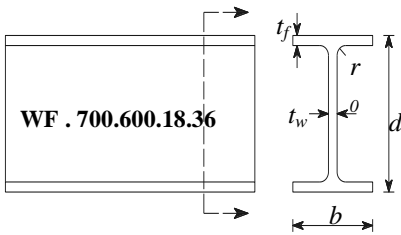
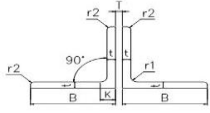
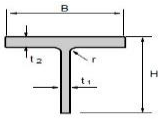
Gambar 4.62 Potongan Skema Sambungan Las

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Hasil Analisis

- Dari hasil perhitungan analisa dengan pembebanan yang sama didapat hasil perbandingan antara balok profil WF dan balok rangka T dan Siku terutama pada gaya aksial nya, dengan ini bahwa balok rangka T dan Siku lebih stabil dibandingkan balok profil WF, seperti terlihat pada tabel dibawah ini.

Dimensi dan Properti Penampang Profil Baja					
Profil Baja WF (Wide Flange)			Profil T dan Profil Baja Siku		
					
					
			Double Angel		T Beam
d = 700,000 mm			d = 50,000 mm		h = 400,000 mm
b = 600,000 mm			b = 50,000 mm		b = 300,000 mm
tw = 18,000 mm			tw = 5,000 mm		t1 = 26,000 mm
tf = 36,000 mm			r = 15,200 mm		t2 = 28,000 mm
r0 = 13,000 mm			e = 14,100 mm		rx = 11,850 mm
Ag = 4.678,000 cm ²			Ag = 4.800,000 cm ²		ry = 6,620 mm
					Ag = 113.370 mm ²

- Jumlah baut yang digunakan pada profil WF
= 112 Baut

Jumlah baut yang digunakan pada balok profil T dan Siku
= 688 Baut

Jadi , struktur rangka profil T dan Siku lebih stabil dibandingkan struktur gable frame profil WF.

3. Berat Total balok dan kolom profil WF	=	37238,4 Kg
Berat Total balok profil T dan Siku	=	36545,1 Kg
		<hr/>
Selisih	=	693,3 Kg
5 medan	=	3466,5 kg

Jadi , struktur rangka profil T dan Siku lebih ringan 3466,5 Kg dibandingkan struktur gable frame profil WF.

5.2. Saran

1. Pelaksanaan dilapangan sebaiknya menggunakan struktur rangka jika waktu pekerjaan yang tersedia cukup lama, karena struktur memiliki lendutan yang kecil dan lebih ringan. Sebaliknya jika waktu yang disediakan terbatas gunakan profil besar untuk mengatasi lendutan WF jika bentang relatif kecil karena jika bentang yang besar maka membutuhkan profil yang besar untuk mengatasi lendutan.

TABEL PERHITUNGAN GAYA BATANG (KN)

No	Tekan	Tarik
1	295,943	
2	1,932	
3	0,716	
4	31,072	
5	27,265	
6	59,359	
7		0,97
8	40,066	
9		3,101
10		1,51
11	42,835	
12	85,59	
13	105,081	
14		1,253
15		81,348
16	1,215	
17	97,162	
18	153,864	
19		1,882
20		27,628
21	2.002	
22	179,024	
23	232,144	
24		1,177
25		12,686
26	2,427	
27	261,202	
28	311,443	
29		0,919
30		14,499
31	2,709	
32	341,538	
33	389,787	
34		0,731
35		13,46
36	2,85	
37	419,111	
38	465,273	
39		0,562
40		12,371
41	2,907	
42	491,969	
43	536,193	

44		0,627
45		9,961
46	2,968	
47	558,928	
48	601,024	
49		0,733
50		11,264
51	2,942	
52	620,592	
53	660,999	
54		0,883
55		9,978
56	2,866	
57	674,747	
58	713,502	
59		0,982
60		7,766
61	2,784	
62	721,314	
63	758,370	
64		1,079
65		6,131
66	2,704	
67	760,235	
68	795,598	
69		1,169
70		3,065
71	2,490	
72	791,15	
73	824,871	
74		1,304
75		5,337
76	2,399	
77	814,945	
78	847,157	
79		1,315
80		1,778
81	2,299	
82	831,653	
83	862,215	
84		1,389
85		13,426
86	1,657	
87	843,598	
88	873,063	
89		1,611
90		89,085
91	790,653	

92		83,541
93	860,246	
94	790,649	
95		83,588
96	860,265	
97		90,202
98		1,611
99	843,614	
100	873,079	
101	1,657	
102		13,412
103		1,388
104	831,676	
105	862,238	
106	2,298	
107		1,791
108		1,315
109	814,972	
110	847,184	
111	2,399	
112		5,329
113		1,304
114	791,188	
115	824,909	
116	2,489	
117		3,060
118		1,169
119	760,287	
120	795,651	
121	2,703	
122		6,140
123		1,078
124	721,384	
125	758,443	
126	2,782	
127		7,702
128		0,982
129	674,859	
130	713,617	
131	2,863	
132		9,227
133		0,878
134	620,815	
135	661,296	
136	2,971	
137		11,818
138		0,735
139	559,175	

140	601,256	
141	2,971	
142		10,004
143		0,629
144	492,243	
145	536,450	
146	2,913	
147		12,388
148		0,560
149	419,377	
150	465,522	
151	2,856	
152		13,797
153		0,727
154	341,743	
155	389,872	
156	2,715	
157		14,190
158		0,920
159	261,319	
160	311,564	
161	2,424	
162		12,657
163		1,178
164	179,097	
165	232,222	
166	1,999	
167		27,646
168		1,883
169	97,203	
170	153,905	
171	1,214	
172		81,349
173		1,253
174	85,623	
175	105,101	
176	42,85	
177	1,511	
178		3,110
179	40,079	
180	0,970	
181	2,274	
182	59,358	
183	0,716	
184	31,083	
185	1,932	
186	295,938	

LEMBAR PERSEMBAHAN



Skripsi Ini Kupersembahkan Untuk:

Bapak dan Ibuku tercinta,

Wal Insanu B. Dan Nurjannah

*yang senantiasa memberikan doa dan limpahan kasih sayang yang tak
ternilai harganya*

Adikku, Al Kautsar

Yang selalu memberikan dukungan dan motivasi

*Keluarga dirumah Nenekku Hj. Nurmiah dan keluarga yang lain yang
tidak sempat saya sebut satu persatu yang selalu memberikan nasehat*

Bapak Ir. Santoso

Yang telah membukakan jalan dalam pemilihan studi saya

IKAMI SULSEL CAB. MALANG

Wadah yang membentuk karakter kepemimpinan saya selama di Malang

Asrama Hasanuddin Malang

Yang telah siap menampung mulai Maba sampai Sarjana

Saudara/iku Di Ikami maupun di Asrama (Jalil, Oskar, Imma, Pino, Didin, Inna, Tin, Adnan, Dani, Iksan, Farabi dan Bibon dan yang tak sempat kusebutkan namanya terima kasih sudah menjadi saudara/i yang baik bagi saya

(Ka Fian, Ka Bure, Ka Eli, Ka Abi, Ka Adi, Ka Akmal, Ka Ente, Ka Firman, Ka Ince, Ka Sabiq, Ka Safar, Ka Fahri, Ka Komeng, Ka Iping dan Ka Fina) dan yang taksempat kusebutkan, terima kasih atas ilmu yang telah kakak berikan

Teman seperjuangan dikampus (Bayu, Adam, Jusi'am, Retno, Lilis, Fida dan Dilla) yang telah bekerja keras bersama-sama dalam menyelesaikan studi di ITN.

Spesial Buat Musdalifah, S.Kep.

Sebagai sahabat, teman dan juga kekasih saya yang selama ini selalu memberikan dorongan dalam banyak hal.

Almamaterku ITN MALANG

Serta semua pihak yang turut memberikan semangat dan do'a

DAFTAR PUSTAKA

- American Institut Of Steel Construction, Inc, "*Manual Of Steel Construction, LRFD volume I, Structural Member, Spesification, And Codes*", Second edition. Chicago, 1994
- American Institut Of Steel Construction, Inc, "*Manual Of Steel Construction, LRFD volume II, Connections*", second edition. Chicago, 1994
- American Institut Of Steel Construction, Inc, "*Manual Of Steel Construction*", thirteenth edition. Chicago, 2005
- Badan Standarisasi Nasional, "*Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1729-2002*", Bandung, 2000
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, "*Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*" Bandung, 1983
- Salmon, C.G., & Johnson, J.E., "*Struktur Baja 1, Desain dan Prilaku*", edisi ketiga, PT. Gramedia Pusat Utama, Jakarta, 1992
- Salmon, C.G., & Johnson, J.E., "*Struktur Baja 2, Desain dan Prilaku*", edisi kedua, PT. Gramedia Pusat Utama, Jakarta, 1995
- Setiawan Agus, "*Perencanaan Struktur Baja, Metode LRFD*", edisi kedua, Erlangga, Jakarta, 2013